

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**“CONSTRUCCIÓN DE CURVAS MAESTRAS MEDIANTE LA  
CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE  
OBTENIENDO EL MÓDULO DINÁMICO DE: PLANTAS ASFÁLTICAS  
DENTRO DE LA PROVINCIA DE IMBABURA.”**

**AUTORES**

**KAREN STEFANÍA AVENDAÑO SALAZAR  
PAULINA LISBETH LÓPEZ AYALA**

**DIRECTOR: ING. GUSTAVO YÁNEZ**

**QUITO, ABRIL 2017**

## DEDICATORIA

A Dios, por no abandonarme nunca y por guiarme en cada paso, por ayudarme a lograr éste gran objetivo.

A Carolina, sin ella nada de esto sería posible, gracias por ser tan generosa y por la oportunidad que me brindaste.

A mis padres Paola y Fabricio, por ser un apoyo infalible durante toda mi vida y por el amor que me dan cada día.

A mi hermano Matt, gracias por estar ahí siempre, por el amor y el cuidado que me brindas.

Para Rocío, Rosa, Sussy, Efraín y Fernando.

- *Karen*

A Dios por su amor y bendición, a mi padre Fernando por su perseverancia y constancia, a mi madre Marlene por sus consejos y valores.

A Fernanda y Karen por ser muy buenas hermanas y por estar a mi lado en momentos prósperos y también en momentos difíciles.

A toda mi querida familia por su amor incondicional.

- *Paulina*

## **AGRADECIMIENTOS**

Un sincero agradecimiento a todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por el valioso aporte que han tenido en nuestra etapa universitaria.

A nuestras familias, gracias por su apoyo incondicional durante toda nuestra formación académica, por estar junto a nosotras cada paso del camino sin dejarnos caer.

Agradecemos a nuestro director de la disertación de grado Ing. Gustavo Yáñez, que nos brindó su ayuda, dedicación y esfuerzo para poder culminar ésta disertación de grado, muchas gracias por la amistad brindada.

Gracias a nuestros correctores, Ing. Patricio Castro que ha sido un gran apoyo durante toda nuestra carrera, al ser un gran profesor y una excelente persona. De igual manera gracias al Ing. Fredi Paredes, por la ayudada brindada dentro y fuera de las aulas.

De manera especial queremos agradecer a los laboratoristas, Carlos Mallama y Jhovanny Muñoz, sin su ayuda ésta disertación de grado no hubiese sido posible.

Finalmente, gracias a los amigos que siempre estuvieron a nuestro lado, a los que han hecho que toda la etapa universitaria sea inolvidable y de los cuales hemos aprendido mucho.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1.1. Introducción .....	1
1.1.2. Alcance.....	2
1.1.3. Objetivos .....	2
1.1.3.1. Objetivo General.....	2
1.1.3.2. Objetivos Específicos .....	2
1.2. MÓDULO DINÁMICO .....	3
1.2.1. Definición.....	3
1.2.2. Expresiones Matemáticas .....	5
1.2.3. Usos del Módulo Dinámico.....	6
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA CURVA MAESTRA.....	7
1.4. DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS A UTILIZAR .....	14
1.4.1. MEZCLA 1: Planta Asfáltica PANAVIAL/ Carpeta Asfáltica.....	18
1.4.2. MEZCLA 2: Planta Asfáltica DPM/ Carpeta Asfáltica .....	20
CAPÍTULO II .....	24
2. ENSAYOS DE LABORATORIO .....	24
2.1. ENSAYOS DEL ASFALTO (AC-20) .....	24
2.1.1. Densidad de Materiales Bituminosos Semisólidos (Método del Picnómetro).....	24
2.1.1. Penetración.....	26
2.1.2. Viscosidad Absoluta a 60°C .....	28

2.1.3.	Viscosidad Rotatoria.....	30
2.1.4.	Efecto del Calor y el Aire en una Película Rodante de Asfalto (Ensayo del horno de Película Delgada Rodante RTFO) .....	31
2.1.5.	Ensayo de Cambio de Masa utilizando Asfalto del RTFO .....	34
2.1.6.	Viscosidad Absoluta del RTFO a 60°C. ....	35
2.1.7.	Ductilidad del Asfalto Envejecido (RTFO) a 25°C .....	36
2.1.8.	Punto de Reblandecimiento (Método de Anillo y Bola).....	40
2.1.9.	Determinación del Punto de Inflamación y Encendido de los Productos del Petróleo con el Equipo de Copa Abierta Cleveland.....	43
2.1.10.	Viscosidad Cinemática a 135°C.....	45
2.1.11.	Índice de Penetración .....	45
2.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA .....	46
2.2.1.	RICE.....	46
2.2.2.	Contenido de Asfalto mediante el Uso del Horno de Ignición.....	51
2.2.3.	Gravedad Específica Bulk.....	55
2.2.	MÓDULO DINÁMICO .....	58
CAPÍTULO III .....		69
3.	TABULACIÓN, ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO.....	69
3.1.	Caracterización del Agregado.....	69
3.1.1.	MINA 1 (TAHUANDO - IBARRA) .....	69
3.1.2.	MINA 2 (CARIYACU - COTACACHI) .....	71
3.2.	Caracterización del Asfalto.....	72
3.2.1.	MINA 1 (TAHUANDO - IBARRA) .....	72
3.2.2.	MINA 2 (CARIYACU - COTACACHI) .....	73
3.3.	Caracterización de la Mezcla.....	74
3.3.1.	MEZCLA 1 (TAHUANDO - IBARRA).....	74

3.3.2.	MEZCLA 2 (CARIYACU – COTACACHI).....	90
3.4.	Módulo Dinámico.....	105
3.4.1.	Tabulación de Datos.....	105
3.4.2.	Metodología para Elaborar el Programa en Excel para la Construcción de las Curvas Maestras.....	108
3.4.3.	Generación de la Curva Maestra .....	109
3.4.3.1.	MEZCLA 1: PLANTA PANAVIAL – IMBAYA/ IBARRA .....	109
3.4.3.2.	MEZCLA 2: PLANTA DPM- CARIYACU/COTACACHI.....	120
3.4.4.	Análisis de Resultados Obtenidos en Laboratorio .....	131
3.4.5.	Análisis de las Curvas Maestras .....	132
CAPÍTULO IV .....		135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		135
4.1.	Conclusiones.....	135
4.2.	Recomendaciones .....	137
BIBLIOGRAFÍA.....		138

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Diagrama de Módulo Complejo .....	4
Figura 1.2:	Módulo Dinámico .....	5
Figura 1.3:	Ejemplo de Construcción de Curvas Maestras .....	8
Figura 1.4:	Función Sigmoidal.....	10
Figura 1.5:	Módulo Dinámico de Laboratorio en Función del Tiempo de Carga.....	11
Figura 1.6:	Módulo Dinámico vs. Frecuencia Reducida.....	12
Figura 1.7:	Shift Factor vs. Temperatura .....	12

Figura 1.8: Determinación de Curva Maestra de Rigidez para Mezcla Asfáltica .....	13
Figura 1.9: Ubicación Geográfica General.....	14
Figura 1.10: Ubicación Planta Asfáltica de Panavial .....	15
Figura 1.11: Ubicación Planta Asfáltica DPM .....	16
Figura 3.1: Gráfica Granulométrica en Escala Semi-Logarítmica (Tahuando-Ibarra) .....	75
Figura 3.2: Gráfica Granulométrica en Escala Semi-Logarítmica (Cariyacu-Cotacachi).....	91
Figura 3.3: Curva Maestra de la Muestra I1 .....	110
Figura 3.4: Curva Maestra de la Muestra I2.....	111
Figura 3.5: Curva Maestra de la Muestra I4.....	112
Figura 3.6: Curva Maestra de la Muestra I5.....	113
Figura 3.7: Curva Maestra de la Muestra I6.....	114
Figura 3.8: Curva Maestra de la Muestra I7.....	115
Figura 3.9: Curva Maestra de la Muestra I8.....	116
Figura 3.10: Curva Maestra de la Muestra I9.....	117
Figura 3.11: Curva Maestra de la Muestra I10.....	118
Figura 3.12: Curva Maestra Mezcla Ibarra .....	119
Figura 3.13: Curva Maestra de la Muestra C1 .....	121
Figura 3.14: Curva Maestra de la Muestra C2 .....	122
Figura 3.15: Curva Maestra de la Muestra C4 .....	123
Figura 3.16: Curva Maestra de la Muestra C5 .....	124
Figura 3.17: Curva Maestra de la Muestra C6 .....	125
Figura 3.18: Curva Maestra de la Muestra C7 .....	126
Figura 3.19: Curva Maestra de la Muestra C8 .....	127
Figura 3.20: Curva Maestra de la Muestra C9 .....	128

Figura 3.21: Curva Maestra de la Muestra C10 .....	129
Figura 3.22: Curva Maestra Mezcla Cotacachi .....	130
Figura 3.23: Curvas Maestras de las Mezclas .....	133

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Ecuación 1.1: Módulo Complejo (Leiva, 2006).....	6
Ecuación 1.2: Relación entre Módulo Complejo y Módulo Dinámico (Leiva, 2006) .....	6
Ecuación 1.3: WLF (Ecuación Empírica William Landel y Ferry) (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003) .....	8
Ecuación 1.4: Arrhenius (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003).....	8
Ecuación 1.5: Log – Linear (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003).....	9
Ecuación 1.6: VTS: Viscosity Temperature Susceptibility (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003).....	9
Ecuación 1.7: Usos de la Ecuación de la Función Sigmoidal (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003).....	10
Ecuación 1.8: Logaritmo de la Frecuencia Reducida (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003) .....	11
Ecuación 2.1: Densidad Relativa (ASTM D.-0. , 2009).....	24
Ecuación 2.2: Densidad de Materiales Bituminosos Semisólidos (Métodos del Picnómetro) (ASTM D.-0. , 2009) .....	25
Ecuación 2.3: Viscosidad Absoluta (ASTM D.-1. , 2010).....	29
Ecuación 2.4: Índice de Penetración (ASTM D.-1. , 2013) .....	45
Ecuación 2.5: Determinación con el Recipiente en el Aire (ASTM D.-1. , 2011).....	50
Ecuación 2.6: Determinación de Gravedad Específica BULK (ASTM D.-1. , 2011, pág. 4)..	57



Ecuación 2.7: Cálculo de la Densidad de la Muestra (ASTM D.-1. , 2011, pág. 4) .....	57
Ecuación 2.8: Cálculo de Agua Absorbida por el Espécimen en Porcentaje (ASTM D.-1. , 2011, pág. 4) .....	57

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1: Obtención de las Muestras Asfálticas desde la Banda Transportadora .....	17
Fotografía 1.2: Obtención de las Muestras Asfálticas con Pala .....	17
Fotografía 1.3: Planta Asfáltica PANAVAL .....	18
Fotografía 1.4: Recipientes Herméticos con la Mezcla.....	19
Fotografía 1.5: Recipientes Herméticos para Transportar la Mezcla .....	19
Fotografía 1.6: Planta Asfáltica DPM .....	21
Fotografía 1.7: Comprobación de la Temperatura de la Mezcla ante de ser Transportada.....	21
Fotografía 1.8: Recipientes Herméticos para Transportar la Mezcla.....	22
Fotografía 2.1: Preparación de las Muestras para Ensayo de Densidad.....	25
Fotografía 2.2: Preparación de las Muestras para Ensayo de Densidad.....	25
Fotografía 2.3: Preparación de la Muestra de Penetración.....	26
Fotografía 2.4: Equipo Listo para la Realización del Ensayo de Penetración .....	27
Fotografía 2.5: Realización del Ensayo de Penetración .....	27
Fotografía 2.6: Medición del Ensayo de Penetración a los 5 segundos .....	28
Fotografía 2.7: Finalización del Ensayo de Penetración .....	28
Fotografía 2.8: Preparación de Muestras para el Ensayo de Viscosidad Absoluta a 60°C .....	29
Fotografía 2.9: Realización del Ensayo de Viscosidad Absoluta a 60°C.....	30
Fotografía 2.10: Preparación de las Muestras para el Ensayo de Viscosidad Rotatoria .....	30
Fotografía 2.11: Realización del Ensayo de Viscosidad Rotatoria .....	31

Fotografía 2.12: Horno para RTFO .....	32
Fotografía 2.13: Preparación de las Muestras para el Ensayo de RTFO .....	32
Fotografía 2.14: Preparación de las Muestras para el Ensayo de RTFO .....	33
Fotografía 2.15: Preparación de las Muestras para el Ensayo de RTFO .....	33
Fotografía 2.16: Realización del Ensayo de RTFO .....	33
Fotografía 2.17: Preparación de las Muestras del Ensayo de Cambio de Masa .....	34
Fotografía 2.18: Realización del Ensayo de Cambio de Masa .....	35
Fotografía 2.19: Preparación del Viscosímetro del Ensayo de Viscosidad Absoluta del RTFO a 60°C .....	35
Fotografía 2.20: Realización del Ensayo de Viscosidad Absoluta del RTFO a 60°C .....	36
Fotografía 2.21: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad .....	37
Fotografía 2.22: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad .....	37
Fotografía 2.23: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad .....	38
Fotografía 2.24: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad .....	38
Fotografía 2.25: Realización de Ensayo de Ductilidad .....	39
Fotografía 2.26: Realización de Ensayo de Ductilidad .....	39
Fotografía 2.27: Finalización de Ensayo de Ductilidad .....	40
Fotografía 2.28: Preparación de las Muestras para Ensayo de Reblandecimiento .....	41
Fotografía 2.29: Preparación de las Muestras para Ensayo de Reblandecimiento .....	41
Fotografía 2.30: Muestra a 45°C para el Ensayo de Reblandecimiento .....	42
Fotografía 2.31: Realización del Ensayo de Reblandecimiento .....	42
Fotografía 2.32: Finalización del Ensayo de Reblandecimiento .....	43
Fotografía 2.33: Realización del Ensayo de Punto de Inflamación y Encendido .....	44
Fotografía 2.34: Realización del Ensayo de Punto de Inflamación y Encendido .....	44

Fotografía 2.35: Cuarteo de la Mezcla Asfáltica.....	48
Fotografía 2.36: Recipiente de Metal con Mezcla Asfáltica .....	48
Fotografía 2.37: Recipiente de Metal con Mezcla Asfáltica y Agua .....	49
Fotografía 2.38: Recipiente en el Agitador Mecánico .....	49
Fotografía 2.39: Recipiente Sumergido en el Baño de Agua .....	50
Fotografía 2.40: Horno de Ignición.....	52
Fotografía 2.41: Conjunto de la Canastilla.....	52
Fotografía 2.42: Jaula de Protección con Conjunto de la Canastilla.....	54
Fotografía 2.43: Muestras en Reposo.....	56
Fotografía 2.44: Muestra Sumergida en Agua a 25°C .....	56
Fotografía 2.45: Sistema de Ensayo de Módulo Dinámico (Máquina Universal COOPER)...	58
Fotografía 2.46: Cámara Ambientadora.....	59
Fotografía 2.47: Platinas de Carga con los Reductores de Fricción.....	60
Fotografía 2.48: Apoyos Metálicos siendo Pegados a la Muestra .....	61
Fotografía 2.49: Muestra con Apoyos Metálicos .....	61
Fotografía 2.50: Compactador Giratorio Superpave con Muestra en su Interior .....	62
Fotografía 2.51: Muestra Salida del Compactador Giratorio Superpave .....	62
Fotografía 2.52: Perforadora Extrayendo los Núcleos de las Muestras .....	63
Fotografía 2.53: Núcleo Extraído.....	63
Fotografía 2.54: Espécimen Ubicado en el Soporte Base con los LVDT .....	66
Fotografía 2.55: Especímenes dentro del Equipo de Ensayo .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Especificaciones Generales para Carpeta Asfáltica .....	20
--------------------------------------------------------------------	----

Tabla 1.2: Especificaciones Generales para Carpeta Asfáltica .....	23
Tabla 2.1: Tamaño Mínimo de la Muestra .....	47
Tabla 2.2: Tamaño Mínimo de la Muestra .....	53
Tabla 2.3: Tiempos Recomendados para la Adecuación de la Temperatura .....	65
Tabla 2.4: Rango de Valores del Esfuerzo Dinámico .....	67
Tabla 2.5: Número de Ciclos por cada Frecuencia .....	67
Tabla 3.1: Tabla Resumen de Ensayos "Caracterización de los Agregados de la Mina 1(Tahuando - Ibarra)" .....	70
Tabla 3.2: Tabla Resumen de Ensayos "Caracterización de los Agregados de la Mina 2 (Cariyacu - Cotacachi)" .....	71
Tabla 3.3: Tabla Resumen de Ensayos de Caracterización del Asfalto (AC-20) de la Mina 1 (Ibarra).....	72
Tabla 3.4: Tabla Resumen de Ensayos de Caracterización del Asfalto (AC-20) de la Mina 2 (Cotacachi) .....	73
Tabla 3.5: Granulometría de Agregados de la Mina Tahuando (Muestra No.01).....	76
Tabla 3.6: Granulometría de Agregados de la Mina Tahuando (Muestra No.02).....	77
Tabla 3.7: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Tahuando (Muestra No.01) .....	78
Tabla 3.8: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE Mina Tahuando (Muestra No.02).....	79
Tabla 3.9: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE Mina Tahuando (Muestra No.03).....	80
Tabla 3.10: Tabla Resumen de los Resultados de la Gravedad Específica Máxima Teórica RICE .....	81
Tabla 3.11: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Tahuando (Muestra No. 01) .....	82

Tabla 3.12: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Tahuando (Muestra No. 02) .....	83
Tabla 3.13: Tabla de Resumen del Contenido de Asfalto .....	84
Tabla 3.14: Dimensiones de los Núcleos Extraídos de las Muestras de la Mina Tahuando ....	85
Tabla 3.15: Dimensiones de los Núcleos Parciales de las Muestras de la Mina Tahuando .....	86
Tabla 3.16: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Enteros de la Mina Tahuando.....	87
Tabla 3.17: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Parciales de la Mina Tahuando .....	88
Tabla 3.18: Tabla Resumen de los Resultados del Ensayo de Gravedad Específica Bulk .....	89
Tabla 3.19: Granulometría de Agregados de la Mina Cariyacu (Muestra No.01) .....	92
Tabla 3.20: Granulometría de Agregados de la Mina Cariyacu (Muestra No.02) .....	93
Tabla 3.21: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Cariyacu (Muestra No.01) .....	94
Tabla 3.22: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Cariyacu (Muestra No.02) .....	95
Tabla 3.23: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Cariyacu (Muestra No.03) .....	96
Tabla 3.24: Tabla Resumen de los Resultados de la Gravedad Específica Máxima Teórica RICE .....	97
Tabla 3.25: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Cariyacu (Muestra No. 01).....	98
Tabla 3.26: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Cariyacu (Muestra No. 02).....	99
Tabla 3.27: Tabla de Resumen del Contenido de Asfalto .....	100
Tabla 3.28: Dimensiones de los Núcleos Extraídos de las Muestras de la Mina Cariyacu....	101

Tabla 3.29: Dimensiones de los Núcleos Parciales de las Muestras de la Mina Cariyacu ....	102
Tabla 3.30: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Enteros de la Mina Cariyacu .....	103
Tabla 3.31: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Parciales de la Mina Cariyacu .....	104
Tabla 3.32: Tabla Resumen de los Resultados del Ensayo de Gravedad Específica Bulk ....	105
Tabla 3.33: Módulos Dinámicos de la Mezcla 1 (Mina Tahuando – Ibarra): Planta PANAVIAL .....	106
Tabla 3.34: Módulos Dinámicos de la Mezcla 2 (Mina Cariyacu – Cotacachi): Planta DPM .....	107
Tabla 3.35: Tabla de Resumen de Resultados Obtenidos .....	131

## **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo de titulación es determinar las Curvas Maestras de mezclas asfálticas en caliente, con materiales de plantas asfálticas ubicadas en la provincia de Imbabura, mediante el método Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide con sus siglas M-E PDG, siendo un método mecánico empírico desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Se ha utilizado como parámetro importante el módulo dinámico; que nos ayuda a tener una concepción del comportamiento de la estructura del pavimento colocado en obra bajo condiciones de trabajo reales; es decir, se puede conocer parámetros importantes como la deformación permanente y los agrietamientos por fatiga del mismo.

Los ensayos se realizaron bajo la norma AASHTO TP62-03, que indica que se debe realizar combinaciones de 5 temperaturas con 6 frecuencias, los cuales se efectuaron de dos plantas asfálticas, con 9 probetas de cada una, obteniendo los Módulos Dinámicos en la Máquina Universal.

Se realizaron todos los ensayos pertinentes para la caracterización de los agregados y del asfalto AC-20. La caracterización de la mezcla asfáltica se realizó mediante los ensayos de Gravedad Específica Máxima Teórica Rice, Gravedad Específica Bulk, Contenido de Asfalto mediante el Horno de Ignición y Módulo Dinámico.

Aspirando implementar el método Mecánico - Empírico en el Ecuador, se procedió a la recolección de muestras asfálticas en caliente en la provincia de Imbabura para aportar con la base de datos de curvas maestras que se ha venido realizando en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador desde el año 2010.

## **ABSTRACT**

The objective of the present thesis is to determine the Master Curves of hot asphalt mixtures with materials of asphaltic plants located in the province of Imbabura, using the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide with the abbreviation ME-PDG, being an empirical mechanical method developed by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). The dynamic modulus has been used as an important parameter; which helps us to have a conception of the behavior of the pavement structure placed on site under real working conditions; meaning that, important parameters such as permanent deformation and fatigue cracking can be known.

The tests were done under the AASHTO TP62-03 standard, which indicates that there are combinations of 5 temperatures with 6 frequencies, which were made from two asphaltic plants, with 9 specimens each, obtaining the Dynamic Modules in the Universal Machine.

All appropriate tests were performed for the characterization of aggregates and asphalt AC-20. The characterization of the asphalt mixture was done by the following tests Theory Maximum Specific Gravity Rice, Specific Gravity Bulk, Asphalt Content by the Ignition Oven and Dynamic Module.

Aspiring to implement the Mechanical - Empirical method in Ecuador, we proceeded to the collect hot asphalt samples in the province of Imbabura to contribute with the database of master curves that has been realized in the Pontificia Universidad Católica del Ecuador since the year 2010.



# **CAPÍTULO I**

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1.1. Introducción**

En el Ecuador, desde el año 2008 se emprendió el desarrollo vial aportando al país un crecimiento económico y social. Para que esto pueda suceder se vio la necesidad de realizar rehabilitaciones y ampliaciones de vías ya existentes, como consecuencia el parque automovilístico del país se expandió notablemente ya que los habitantes hemos notado que existe mayor facilidad de desplazamiento entre las regiones y lugares del Ecuador.

En los últimos años, debido a la situación del país, se ha experimentado una gran utilización de las redes viales especialmente en la frontera norte, teniendo como destino el país vecino de Colombia por las oportunidades económicas que nos brindan. En el tramo de la Panamericana Norte, es donde más se puede evidenciar las mejoras viales, como ampliaciones en las vías Otavalo-Ibarra e Ibarra-Bolívar y mejoramientos en el tramo Ibarra-Mascarilla-Juncal; además de mejorar la calidad de la mezcla asfáltica que conforma la estructura del pavimento.

Una estructura de Pavimento Flexible está sometida a diferentes tipos de carga a lo largo de su vida útil, las cuales se asemejan a cargas cíclicas produciendo en la capa granular deformaciones permanentes (plásticas); así como también deformaciones resilientes (recuperables). La ingeniería en Pavimentos se ha concentrado en el estudio a fondo de la deformación resiliente que supone que la deformación permanente es pequeña comparada con la deformación recuperable, sin embargo, existe otro tipo de estudio basado en el módulo dinámico, que busca predecir de una manera más real la deformación permanente bajo la acción de las cargas.

Conociendo que las características mecánicas y dinámicas en una estructura de pavimentos son muy importantes para determinar parámetros definitivos como el dimensionamiento de la estructura o su rehabilitación, las cuales deben soportar el tránsito para el cual van a ser diseñados.

Por lo tanto, la implementación del módulo dinámico para el Diseño de Pavimentos, nos da una percepción más real de las deformaciones permanentes y agrietamiento por fatiga en el Pavimento.

En Ecuador, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador realizó en el año 2010, 2014 y 2016 proyectos de investigación los cuales tratan sobre la construcción de curvas maestras de mezclas asfálticas en caliente, enfocadas en el Distrito Metropolitano de Quito.

La presente disertación tiene como finalidad obtener la información necesaria para poder ampliar el catálogo, no solamente a nivel local sino a nivel nacional, empezando por la provincia de Imbabura debido al gran crecimiento social y económico que se ha venido dando dentro de la misma.

### **1.1.2. Alcance**

La finalidad de la presente disertación de grado es obtener curvas maestras, que representen el módulo dinámico de dos mezclas asfálticas en caliente de diferentes plantas asfálticas dentro de la Provincia de Imbabura, siendo ambas muestras utilizadas para carpeta asfáltica. En la Figura 1.9 se encuentra la ubicación general de las plantas asfálticas; los materiales pétreos se extraen de la mina Tahuando ubicada en Imbaya - Ibarra (Figura 1.10); y de la mina Cariyacu ubicada en Imantag-Cotacachi (Figura 1.11).

### **1.1.3. Objetivos**

#### **1.1.3.1. Objetivo General**

Obtener curvas maestras del módulo dinámico de mezclas asfálticas en caliente utilizadas en la provincia de Imbabura para que los diseñadores de la estructura de pavimentos tengan un valor de referencia del módulo dinámico, estableciendo una herramienta para el uso adecuado de la teoría de diseño Mecánico-Empírico M-E PDG dentro de la provincia.

#### **1.1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Caracterizar los agregados utilizados en las mezclas asfálticas y confirmar que sean óptimos para ser utilizados en las mezclas asfálticas, por medio de los ensayos de Granulometría de Áridos, Peso Unitario Suelto, Peso Unitario Compacto, Absorción,

Densidad Bulk, Densidad Aparente, Desgaste a los sulfatos, Abrasión, Equivalente de Arena, Material que pasa el Tamiz N° 200, Terrones de Arcilla, Partículas Livianas, Partículas Alargadas y Planas, % de Caras Fracturadas.

2. Caracterizar el asfalto AC-20 utilizado en las mezclas asfálticas y comprobar que sea óptimo para su utilización en las mezclas asfálticas, por medio de los ensayos de Gravedad Específica, Punto de chispa, Penetración, Viscosidad 60°C, Viscosidad Cinemática 135°C, RTFO, Cambio de masa, Viscosidad 60°C RTFO, Ductilidad, Ductilidad RTFO, Punto de Ablandamiento, Viscosidad Rotatoria.
3. Caracterizar las mezclas asfálticas y verificar el cumplimiento de los parámetros del diseño de las mezclas, mediante los ensayos de Granulometría, Gravedad específica teórica máxima Rice, Gravedad Específica Bulk de la mezcla y Contenido de asfalto mediante el horno de ignición.
4. Colaborar con la información obtenida a partir de este proyecto de disertación de grado en el catálogo de curvas maestras creado por el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

## 1.2. MÓDULO DINÁMICO

### 1.2.1. Definición

El módulo dinámico de una mezcla asfáltica define como el valor absoluto de la relación entre el valor del esfuerzo máximo y el de la deformación unitaria máxima, obtenido en el ensayo a compresión (uniaxial o triaxial), flexión y tracción indirecta, utilizando cargas en forma cóncava (Higuera Sandoval, Naranjo Barrera, & Cetina Acuna, 2011, pág. 42).

La norma I.N.V E – 754 – 07 (2007) siendo traducción de la norma AASHTO TP62-03, nos da las siguientes definiciones relacionadas con el módulo dinámico:

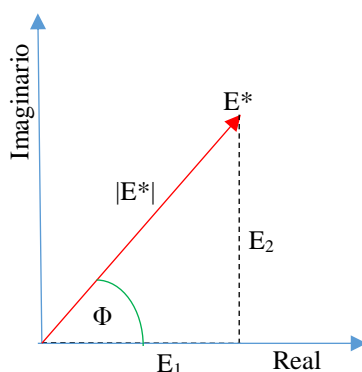
- ♦ **MÓDULO DINÁMICO:** “Es el valor absoluto del Módulo Complejo que define las propiedades elásticas de un material de viscosidad lineal sometido a una carga sinusoidal  $|E^*|$ ” (I.N.V.E-754-07, 2016, pág. 1).
- ♦ **MÓDULO COMPLEJO:** “Es un número complejo que define la relación entre esfuerzo y deformación para un material visco elástico lineal,  $E^*$ ” (I.N.V.E-754-07, 2016, pág. 1).

- ♦ **ÁNGULO DE FASE:** “El ángulo en grados entre los picos de las funciones sinusoidales de esfuerzo y deformación en un ensayo controlado de esfuerzos” (AASHTO, 2003, pág. 3).

Considerando los conceptos anteriormente mencionados, se puede decir que el módulo dinámico de un material visco-elástico (mezcla asfáltica en caliente), se obtiene mediante la relación esfuerzo y deformación unitaria de los picos de la curva de carga continua sinusoidal. El material visco-elástico es aquel que resiste deformación debido a cargas transversales y a su vez se deforma proporcionalmente al esfuerzo aplicado. Por lo tanto, el módulo complejo dinámico ( $E^*$ ) para materiales visco-elásticos, resulta de la relación esfuerzo-deformación bajo una carga sinusoidal continua.

Adicionalmente, el módulo dinámico es considerado como un módulo complejo, debido a que el valor que se obtiene con ésta relación es un número complejo y se lo representa mediante un eje coordenado complejo donde los valores reales están en las abscisas y los valores imaginarios en las ordenadas, como se muestra a continuación en la Figura 1.1:

*Figura 1.1: Diagrama de Módulo Complejo*



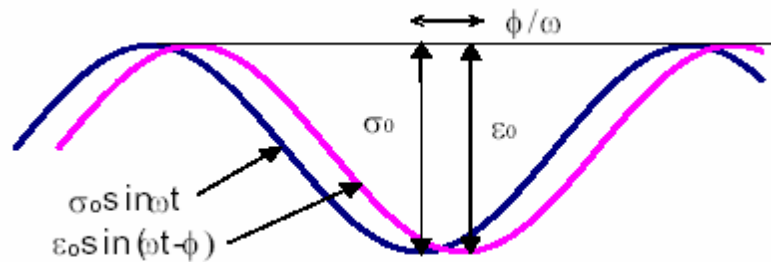
FUENTE: (García, s.f.)

A partir de la Figura 1.1: Diagrama de Módulo Complejo, se puede conocer que el ángulo de fase para un material visco-elástico está en un rango de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Cuando se tiene un ángulo de  $0^\circ$  es debido a que el material es completamente elástico, así mismo si se tiene un valor de  $90^\circ$  el material es viscoso.

Para representar el resultado dinámico de las cargas cíclicas sinusoidales de esfuerzo y deformación con respecto al tiempo, tenemos la Figura 1.2: Módulo Dinámico, aplicadas a las muestras de laboratorio. Dentro del módulo dinámico influyen las siguientes propiedades:

magnitud, temperatura, frecuencia de carga y características de la mezcla como el contenido de asfalto, viscosidad, porcentaje de vacíos y granulometría de los agregados.

*Figura 1.2: Módulo Dinámico*



FUENTE: (Leiva, 2006)

La Guía de Diseño Mecánico-Empírico del Pavimento del Manual de Práctica M-E PDG de la AASHTO (2008) tiene tres niveles para determinar el módulo dinámico de una mezcla asfáltica en caliente, los cuales son:

- ♦ Nivel 1: Toma en cuenta los datos obtenidos de ensayos de laboratorio realizados ((AASHTO), 2008).
- ♦ Nivel 2: Estimaciones obtenidas mediante correlaciones de otras propiedades del material medidas en laboratorio o en campo ((AASHTO), 2008).
- ♦ Nivel 3: Consiste en la utilización de estimaciones realizadas por el diseñador de la propiedad del material basado principalmente en la experiencia con o sin datos de ensayos de laboratorio ((AASHTO), 2008).

Estos tres niveles se basan en la magnitud del proyecto, tipo de vía y el recurso que se tiene disponible para poder usarlos, dándonos una jerarquización debido al grado de importancia.

En esta disertación se utiliza el nivel uno, ya que éste nivel tiene el grado de precisión más alto, es decir, los cálculos realizados en este nivel tienen menos porcentaje de error para la generación de la curva maestra a comparación de los otros dos niveles. El módulo dinámico de éste caso es utilizado para diseñar pavimentos a los que se aplican cargas de tránsito muy pesadas.

### **1.2.2. Expresiones Matemáticas**

Para encontrar el valor del módulo complejo tenemos la siguiente relación:

*Ecuación 1.1: Módulo Complejo (Leiva, 2006)*

$$E^* = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_0 e^{i\omega t}}{\varepsilon_0 e^{i(\omega t - \phi)}} = \frac{\sigma_0 \sin \omega t}{\varepsilon_0 \sin(\omega t - \phi)}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo máximo

$\varepsilon_0$  = Deformación unitaria máxima

$\Phi$  = Ángulo de fase

$t$  = Tiempo

$w$  = Velocidad Angular, su fórmula es:  $w = 2\pi f$

$f$  = Frecuencia angular

*Ecuación 1.2: Relación entre Módulo Complejo y Módulo Dinámico (Leiva, 2006)*

$$|E^*| = E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

### **1.2.3. Usos del Módulo Dinámico**

En la Guía de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimento (M-E PGD) propuesto por la AASHTO, se presenta un Manual de Práctica para el diseño óptimo de la estructura del pavimento, cuyo objetivo principal es entregar a los profesionales de Ingeniería Civil una herramienta práctica para el diseño y análisis de estructuras de pavimento nuevo o rehabilitado basado en los principios Mecánicos-Empíricos, esto asegura que el pavimento se comporte de manera satisfactoria bajo condiciones de carga y de tránsito específicas.

El método Mecánico-Empírico permite determinar la respuesta de elementos estructurales que son parte del pavimento debido a que se basa en la mecánica estructural. Podemos determinar esfuerzos y deformaciones gracias a la parte mecánica (aplicación de cargas de tráfico), utilizando fundamentos elásticos. También se puede determinar datos de deformaciones permanentes o agrietamientos por fatiga del pavimento gracias a estimaciones estadísticas, siendo ésta la parte empírica. Al combinar ambos métodos nos da el método de diseño.

El procedimiento de M-E PDG puede predecir a lo largo de la vida útil del pavimento su comportamiento, a través de esfuerzos y deformaciones dependiendo a la solicitud de cargas

a las que estuvo sometida; facilitando la obtención de datos como registros de deterioros en un periodo de tiempo.

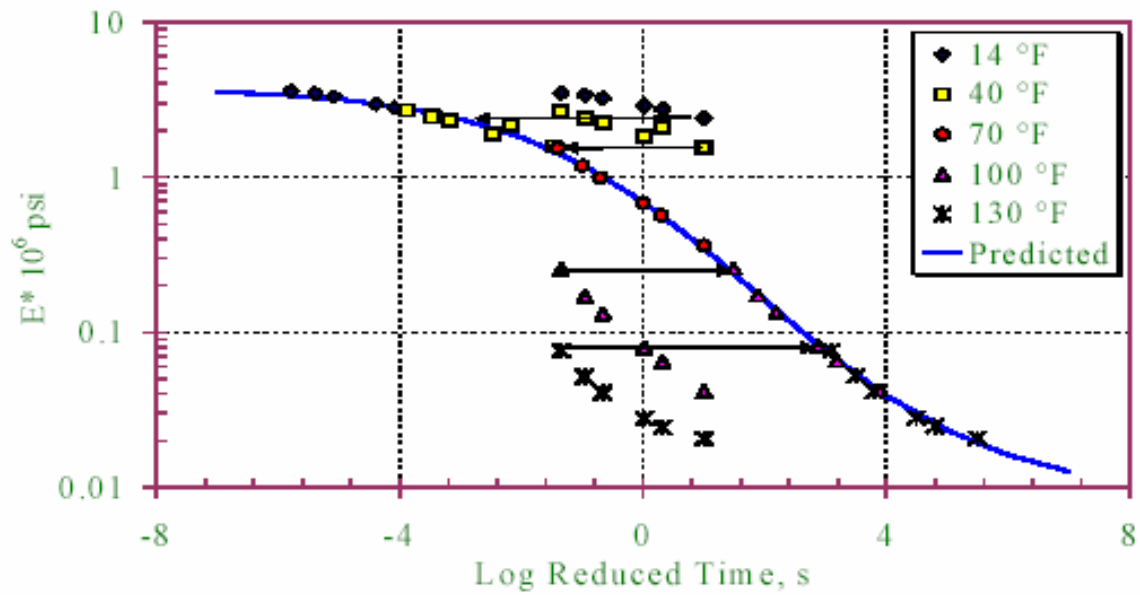
El Manual de Práctica de la AASHTO descrito en el M-E PDG, consiste en usar el software de aplicación llamado NCHRP 2007; este sirve para analizar y diseñar estructuras de pavimento. Para poder hacer uso del programa se necesita tener los datos del módulo dinámico, siendo éste el tema de la presente disertación de grado.

Al diseñar la estructura del pavimento, el M-E PDG utiliza parámetros de la curva maestra obtenida por el módulo dinámico, teniendo en cuenta las variaciones de temperatura y carga que puedan existir, de esta manera se puede conocer el envejecimiento de las mezclas asfálticas y las fallas generadas en su vida útil, gracias a que el software utilizado realiza una representación diaria de los efectos que se produjeron y éstos son registrados para poder observar si la estructura del pavimento al final del tiempo de análisis con el objetivo de diseño.

### **1.3. DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA CURVA MAESTRA**

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio nos dan paso para poder construir la curva maestra de la mezcla asfáltica, sirviendo para completar la caracterización de la muestra. La curva tiene como objetivo encontrar los valores de rigidez que dependen de la frecuencia de carga y de las diferentes temperaturas. El diseño mecánico-empírico se da a raíz de un dato de referencia, siendo éste el del módulo dinámico, el cual se obtiene de la curva maestra construida con el principio de superposición tiempo-temperatura. Éste consiste en seleccionar una temperatura estándar referencial, ajustando los datos de varias temperaturas a dicha temperatura con respecto al tiempo hasta lograr que las curvas se unan en una función única y suavizada, existiendo de esta manera un valor equivalente al módulo para combinaciones específicas de frecuencia-temperatura; logrando la integración del conjunto de curvas a una sola función, mostrada en la Figura 1.3.

Figura 1.3: Ejemplo de Construcción de Curvas Maestras



FUENTE: (Leiva, 2006)

La curva maestra se puede representar con diferentes funciones, estas se dividen en dos grupos, polinomial y sigmoideal. Las funciones polinomiales son las siguientes:

*Ecuación 1.3: WLF (Ecuación Empírica William Landel y Ferry) (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)*

$$\log a(T) = \frac{-c_1(T - T_0)}{c_2 + T - T_0}$$

Donde:

$a(T)$  = Factor de corrección horizontal para  $T > T_g$  (Temperatura de transición vítrea)

$T$  = Temperatura, °C

$T_0$  = Temperatura referencial, °C

$C_1$  y  $C_2$  = Constantes empíricas.

*Ecuación 1.4: Arrhenius (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)*

$$\log a(T) = \frac{\Delta E_a}{2.303R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$



Donde:

$a(T)$  = Factor de corrección horizontal para  $T < T_g$  (Temperatura de transición vítrea)

$\Delta E_a$  = Energía aparente activada

R = Constante universal de gas = 8.314 J/°K-mol

T = Temperatura, °K

$T_0$  = Temperatura referencial, °K.

*Ecuación 1.5: Log – Linear (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)*

$$\log a \left( \frac{T}{T_0} \right) = \beta(T - T_0)$$

Donde:

$\beta$  = Pendiente de la relación entre  $\log a(T)$  y temperatura.

*Ecuación 1.6: VTS: Viscosity Temperature Susceptibility (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)*

$$\log(\log \eta) = A + VTS [\log T_R]$$

Donde:

$\eta$  = Viscosidad, coeficiente de Poise

$T_R$  = Temperatura, °Rankine

A = Intercepción de Regresión

VTS = Pendiente de regresión de la ecuación de Viscosity Temperature Susceptibility

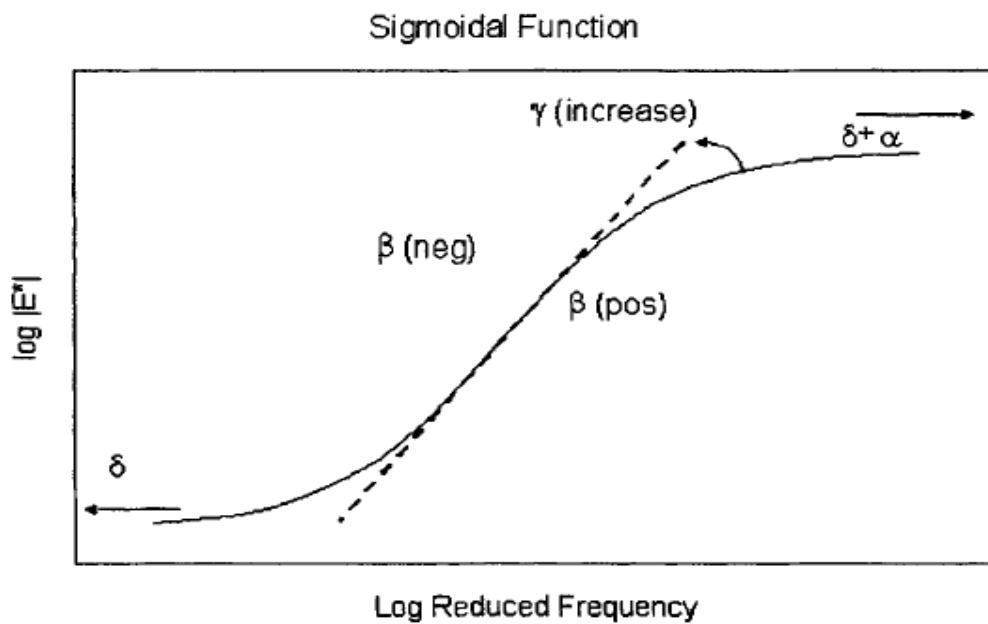
Debido a que se desea una implementación adecuada y fácil para la construcción de las curvas dinámicas; los autores Pellinen, Witczak y Bonaquist realizaron un trabajo científico titulado “Asphalt Mix Master Curve Construction Using Sigmoidal Fitting Function With Non-Linear Least Squares Optimization” (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003), en el cual constan las ecuaciones anteriormente detalladas.

Existe una limitación al usar las formulas polinomiales, ya que en temperaturas muy bajas o a su vez, muy elevadas aparecen valores irracionales de modulo; por lo tanto, no realizan un

ajuste apropiado cuando se extrapola fuera del rango de los datos. Debido a estas condiciones erróneas, se procede a utilizar la función sigmoideal, la cual adapta de una manera asintótica los valores del módulo dinámico.

La gráfica de la curva maestra presenta como ordenadas al (Logaritmo en base 10 del módulo dinámico), y en las abscisas al (Logaritmo en base 10 de la frecuencia reducida, siendo esta la frecuencia de ensayo multiplicada por el Shift Factor  $a(T)$ , en Hz). La Figura 1.4, representa un modelo de los componentes de dicha curva.

*Figura 1.4: Función Sigmoideal*



FUENTE: (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)

Para poder generar la curva correctamente se necesitan obtener el número de valores necesarios con las siguientes ecuaciones:

*Ecuación 1.7: Usos de la Ecuación de la Función Sigmoideal (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)*

$$\log |E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta - \gamma(\log \xi)}}$$

Donde:

$|E^*|$  = Módulo dinámico

$\xi$  = Frecuencia reducida

$\delta$  = Valor mínimo del módulo

$\alpha$  = Rango de valores del módulo

$\beta, \gamma$  = Parámetros de forma

Los parámetros de forma,  $\gamma$  influyen en la forma empinada de la curva, es decir, cuando se tiene la relación entre el valor mínimo y máximo, y el parámetro  $\beta$  representa la posición horizontal del punto de inflexión de la curva.

*Ecuación 1.8: Logaritmo de la Frecuencia Reducida (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)*

$$\log(\xi) = \log(f) + \log[a(T)]$$

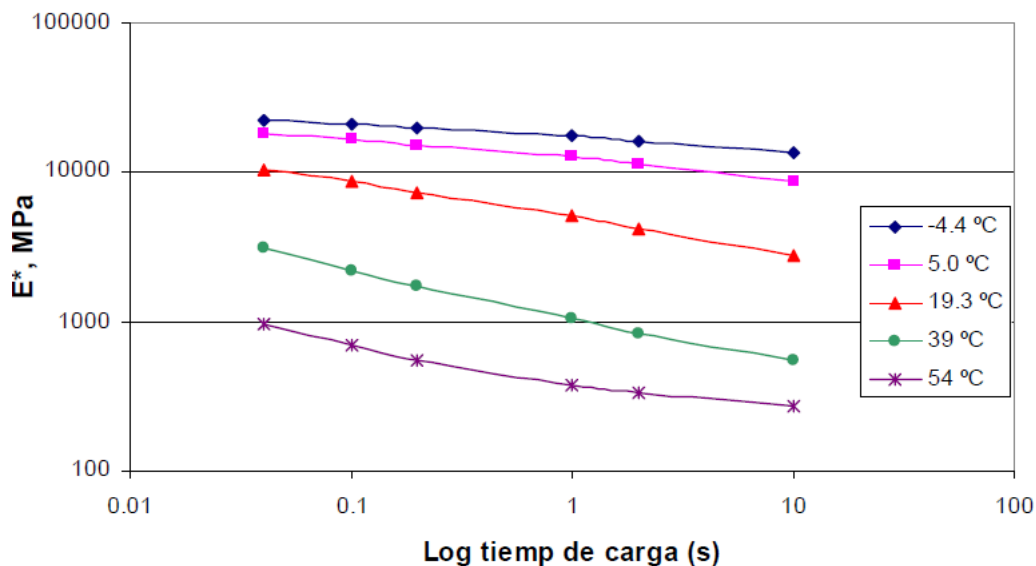
Donde:

$f$  = Frecuencia en la que se realiza el ensayo

$[a(T)]$  = Factor de corrección (Shift Factor)

Se suma el  $\log(f)$  y el  $\log [a(T)]$  debido a que, al momento de graficar, ya que si se dibuja en las abscisas el  $\log (f)$  se obtendrían diferentes curvas como tenemos en la Figura 1.5.

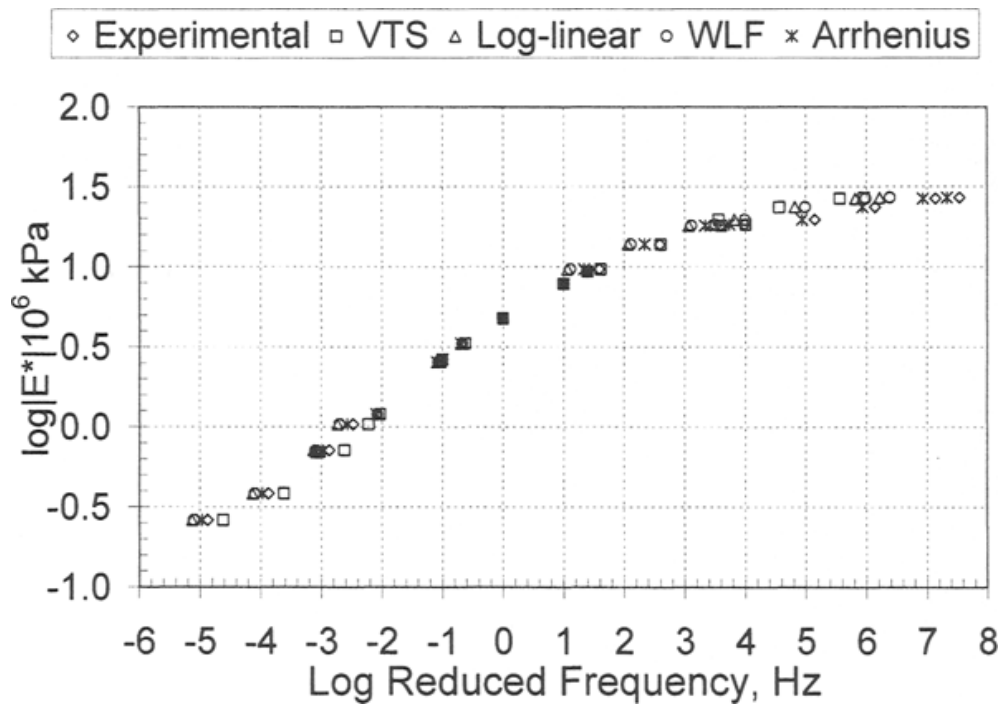
*Figura 1.5: Módulo Dinámico de Laboratorio en Función del Tiempo de Carga*



FUENTE: (Leiva, 2006)

Con lo dicho anteriormente,  $a(T)$ , al ser un factor de desplazamiento solamente horizontal tiene como función consolidar las diferentes funciones graficadas en una sola curva suavizada con una temperatura regularizada como se observa en la Figura 1.6.

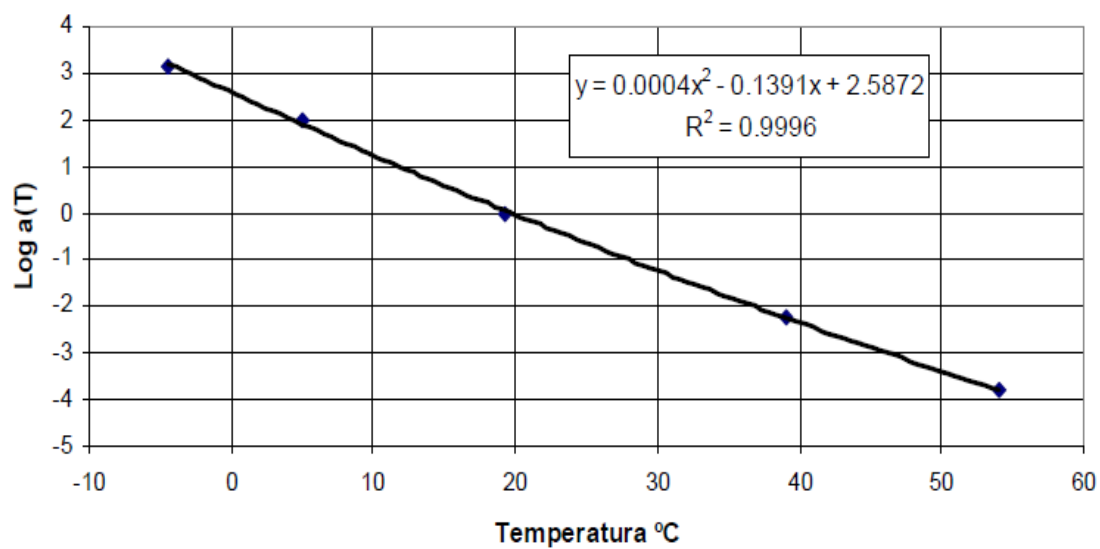
Figura 1.6: Módulo Dinámico vs. Frecuencia Reducida



FUENTE: (Pellinen, Witczak, & Bonaquist, 2003)

El factor de corrección se obtiene partiendo del principio de que este valor será de 1 para la temperatura referenciada, con esto se genera un gráfico que tiene como ordenadas el  $\log[a(T)]$  y abscisas  $T(^{\circ}\text{C})$ , los valores serán los prescritos para el ensayo, como se observa en la Figura 1.7.

Figura 1.7: Shift Factor vs. Temperatura



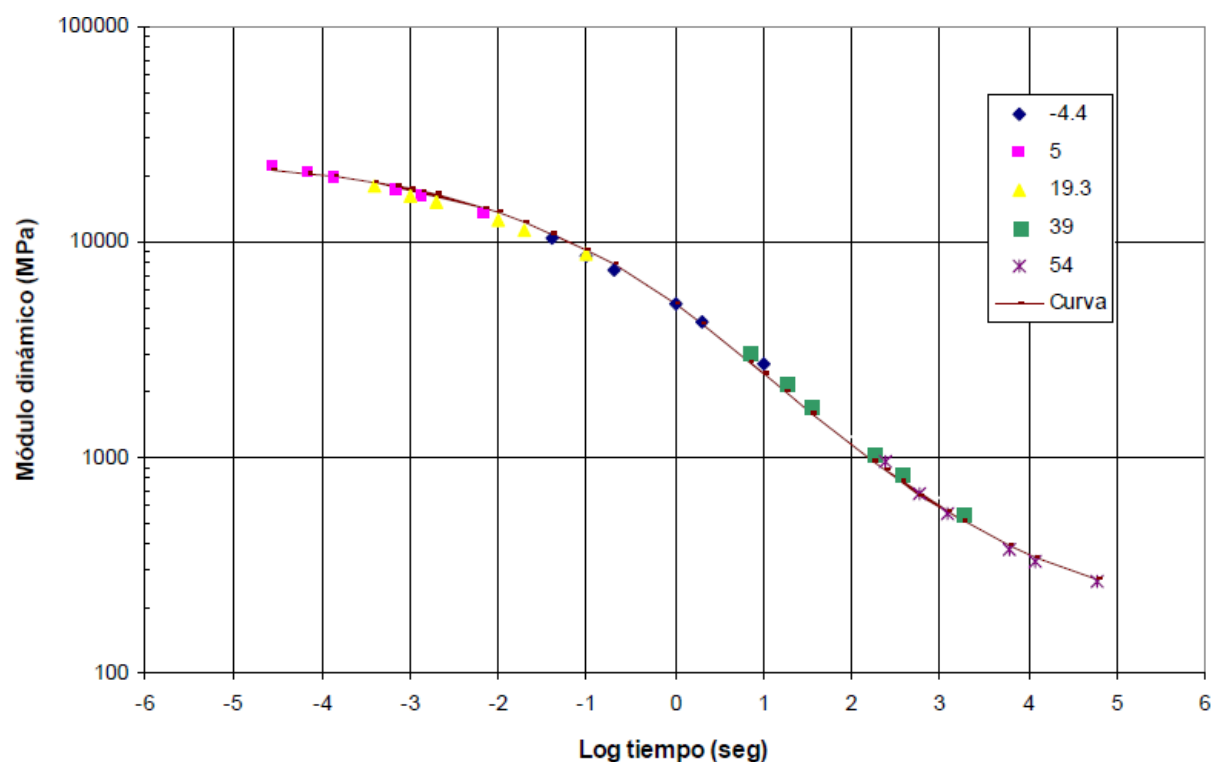
FUENTE: (Leiva, 2006)

Mediante iteraciones se encuentran los valores óptimos de los factores de corrección, generando la curva maestra con el menor error entre la función y los valores corregidos de los datos obtenidos en el laboratorio.

En el desarrollo del ensayo se utilizarán frecuencias y temperaturas que se encuentran determinadas en la norma, las mismas que serán descritas en el Capítulo II, apartado del ensayo de módulo dinámico (AASHTO TP – 62 – 03).

Se debe considerar que el dominio de la curva se puede realizar para la temperatura o frecuencia, para la presente disertación se realizará en función de la temperatura, trabajaremos con una temperatura base de 21°C. El ajuste es usado para realizar los desplazamientos necesarios de los valores que se obtuvieron de los ensayos de laboratorio, de esta manera se conforma la curva maestra con su forma típica, como se observa en la Figura 1.8.

*Figura 1.8: Determinación de Curva Maestra de Rigidez para Mezcla Asfáltica*



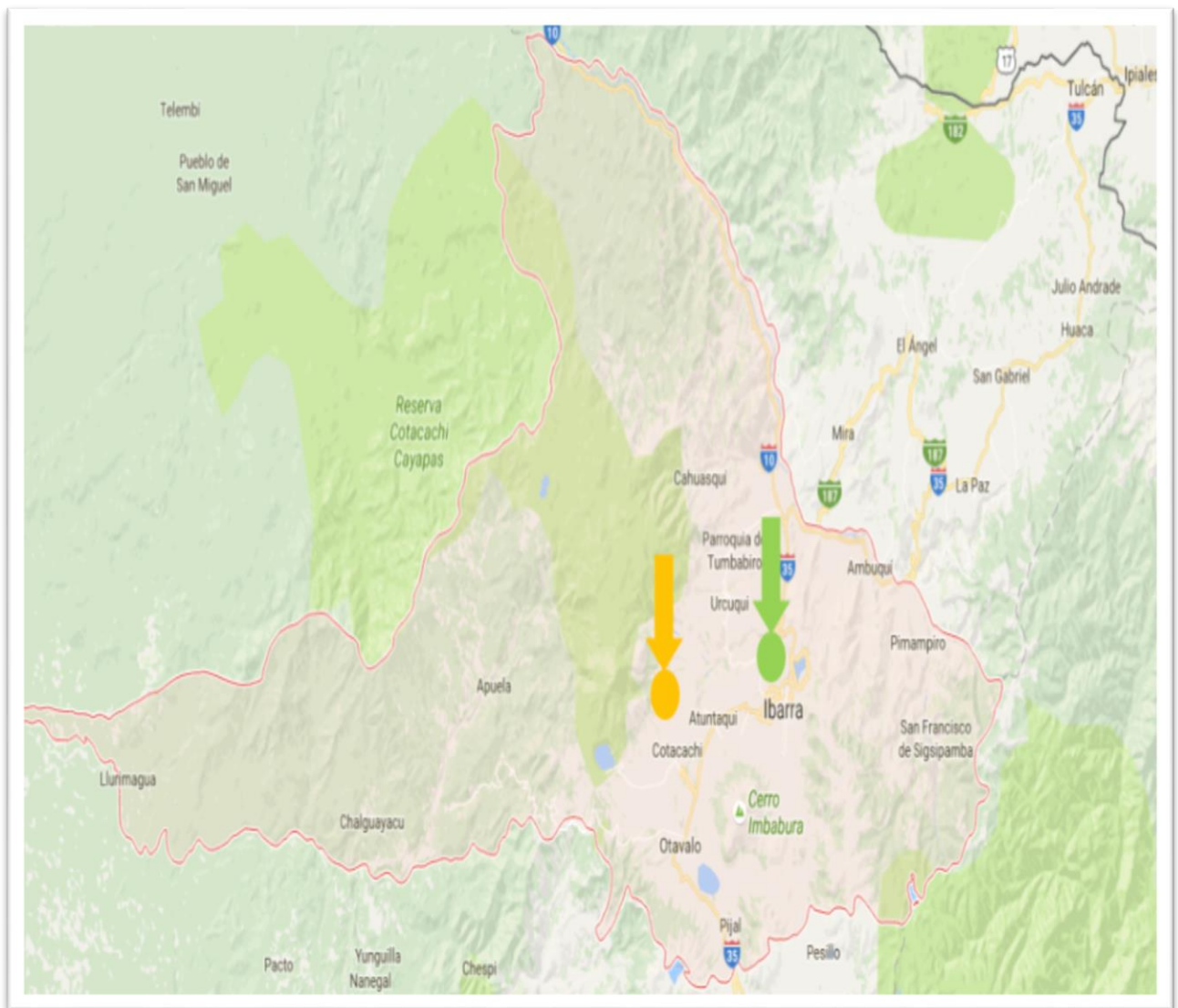
FUENTE: (Leiva, 2006)

## 1.4.DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS A UTILIZAR

Para la presente disertación, se ha escogido dos diseños de mezclas asfálticas en caliente de plantas asfálticas ubicadas en la Provincia de Imbabura, las cuales actualmente mantienen su operación para la ampliación y mantenimiento de la Panamericana Norte, que nos lleva hasta el país vecino de Colombia, con el fin de seguir adicionando información al catálogo de curvas maestras existentes en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

A continuación, se puede observar en la Figura 1.9, la ubicación geográfica en general de las minas:

*Figura 1.9: Ubicación Geográfica General*



FUENTE: (Google, 2016)

- ♦ PLANTA ASFÁLTICA DE PANAVIAL (**Flecha Verde**) Imbaya- Ibarra- Imbabura. (Google, 2016)
- ♦ PLANTA ASFÁLTICA DPM Ings. Asociados Cia. Constructora (**Flecha Naranja**) Imantag- Cotacachi- Imbabura. (Google, 2016)

*Figura 1.10: Ubicación Planta Asfáltica de Panavial*



FUENTE: (Google, 2016)



*Figura 1.11: Ubicación Planta Asfáltica DPM*



FUENTE: (Google, 2016)

La obtención de muestras fue desarrollada en campo, en cada una de las plantas asfálticas. Se realizó al extraer con una pala la mezcla desde la banda transportadora para colocarla en recipientes metálicos que facilitaban el transporte del material asfáltico. Los recipientes utilizados son herméticos para evitar que agentes contaminantes ingresen y también para que no exista pérdida del material.



*Fotografía 1.1: Obtención de las Muestras Asfálticas desde la Banda Transportadora*



*Fotografía 1.2: Obtención de las Muestras Asfálticas con Pala*



Existirá segregación al obtener el material de esta manera, por esta razón una vez que el material se encuentre en el laboratorio se lo debe homogenizar y separarlo en diferentes bandejas, cubrirlas con papel aluminio para posteriormente utilizarlo en los ensayos a realizarse.

Los ensayos que se realizaron a las muestras asfálticas obtenidas en campo fueron los siguientes:

- ◆ Gravedad específica máxima teórica RICE
- ◆ Contenido de asfalto mediante el horno de ignición
- ◆ Granulometría de los agregados
- ◆ Gravedad específica de la mezcla compactada BULK
- ◆ Módulo Dinámico.

Cada uno de estos ensayos será descrito en el Capítulo II de la presente disertación de grado.

#### **1.4.1. MEZCLA 1: Planta Asfáltica PANAVAL/ Carpeta Asfáltica**

La muestra fue obtenida en campo dentro de la planta, la cual está ubicada en la Ciudadela Imbaya, dentro de la ciudad de Ibarra.

La mezcla se diseña con tres tipos de agregado, denominados de la siguiente manera:  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ", arena. En ésta planta se trabaja con agregados triturados adquiridos en la mina de Tahuando.

El asfalto que se utiliza para la mezcla es AC-20, el cual es producido en la Refinería Estatal de Esmeraldas. No se pudo obtener el contenido de asfalto utilizado en el diseño, debido a que ellos no entregan esa información a personas particulares.

*Fotografía 1.3: Planta Asfáltica PANAVAL*



La temperatura de la muestra no fue verificada ya que fue tomada directamente de la planta y sale a una temperatura específica.

Para que las muestras no sufran ninguna alteración debido a agentes contaminantes, éstas fueron transportadas en recipientes herméticos, con sus debidos cuidados e identificadas correctamente.

*Fotografía 1.4: Recipientes Herméticos con la Mezcla*



*Fotografía 1.5: Recipientes Herméticos para Transportar la Mezcla*



A continuación, se presentan datos relevantes utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica.

Tamaño máximo nominal del agregado:  $\frac{3}{4}$ ".

Franjas granulométricas de la mezcla de diseño de las Especificaciones Generales para construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 para Carpeta Asfáltica producida en planta:

*Tabla 1.1: Especificaciones Generales para Carpeta Asfáltica*

<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada (3/4")</b>
1"	100
$\frac{3}{4}$ "	90-100
$\frac{1}{2}$ "	-
$\frac{3}{8}$ "	56-80
No. 4	35-65
No. 8	23-49
No.16	-
No. 30	-
No. 50	5-19
No. 100	-
No. 200	2-8

FUENTE: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

#### **1.4.2. MEZCLA 2: Planta Asfáltica DPM/ Carpeta Asfáltica**

La muestra fue tomada en campo dentro de la planta, la cual está ubicada en la parroquia de Imantag, en el Cantón Cotacachi.

Para el diseño de la mezcla se clasifican a los agregados en dos tipos, denominados:  $\frac{1}{2}$ " y arena.

La planta DPM trabaja para esta muestra con agregados triturados provenientes de la mina Cariyacu, al igual que el material fino.



El asfalto utilizado en la mezcla es el producido por la Refinería Estatal de Esmeraldas (Petrocomercial) AC – 20. El contenido de cemento asfalto óptimo utilizado en este diseño es igual a 6,4%.

*Fotografía 1.6: Planta Asfáltica DPM*



Se comprobó que la temperatura a la que sale la mezcla de la planta asfáltica fue de 150°C, para que la mezcla sea entregada a la vía a temperaturas mayores de 140°C.

*Fotografía 1.7: Comprobación de la Temperatura de la Mezcla ante de ser Transportada*



Para que las muestras no sufran ninguna alteración debido a agentes contaminantes, éstas fueron transportadas en recipientes herméticos, con sus debidos cuidados e identificadas correctamente.

*Fotografía 1.8: Recipientes Herméticos para Transportar la Mezcla*



A continuación, se exponen los datos principales del diseño utilizado para dicha mezcla asfáltica, el documento completo otorgado por la Planta Asfáltica DPM se encuentra en el Anexo 1.

Tamaño máximo nominal del agregado:  $\frac{1}{2}$ ".

Franjas granulométricas de la mezcla de diseño de las Especificaciones Generales para construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 para Carpeta Asfáltica producida en planta:

*Tabla 1.2: Especificaciones Generales para Carpeta Asfáltica*

<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada (1/2")</b>
<i>1"</i>	-
<i>3/4"</i>	100
<i>1/2"</i>	90-100
<i>3/8"</i>	-
<i>No. 4</i>	44-74
<i>No. 8</i>	28-58
<i>No.16</i>	-
<i>No. 30</i>	-
<i>No. 50</i>	5-21
<i>No. 100</i>	-
<i>No. 200</i>	2-10

FUENTE: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

## **CAPÍTULO II**

### **ENSAYOS DE LABORATORIO**

#### **2.1. ENSAYOS DEL ASFALTO (AC-20)**

El Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2515 en el Ecuador, es el encargado de la calificación de productos derivados del petróleo (clasificación por viscosidad). En la tabla 7 de la norma antes mencionada, se encuentran los ensayos requeridos para asfalto virgen y asfalto envejecido mediante RTFO (Railing Thin Film Oven). Los ensayos realizados al AC-20 son los siguientes:

##### **2.1.1. Densidad de Materiales Bituminosos Semisólidos (Método del Picnómetro)**

Este ensayo se rige mediante la norma ASTM D70-09, la densidad del asfalto es utilizado para convertir volúmenes a unidades de masa. Se pesa el picnómetro vacío incluido la tapa en una balanza de precisión de 0.001g, luego se lo llena de agua y se procede a pesarlo. Para la preparación de la muestra, se calienta el asfalto en el horno hasta que este lo suficientemente fluido, se homogeniza el asfalto durante 30 segundos hasta que quede uniforme, para poder ser vertido en los picnómetros, se deja enfriar los picnómetros por 40 minutos, se le coloca la tapa y se pesa el picnómetro con asfalto, por último se lo sumerge en el baño de agua destilada al menos 30 minutos y se vuelve a pesar el picnómetro con el asfalto y agua.

Consiste en obtener los 4 valores de masa en las siguientes situaciones:

- ◆ A= Picnómetro (con su tapa) vacío
- ◆ B= Picnómetro lleno de agua
- ◆ C= Picnómetro una vez que se vertió el asfalto en el mismo
- ◆ D= Picnómetro más asfalto más agua

Con estos 4 valores se obtiene el valor de la densidad y se la puede calcular con la siguiente ecuación:

*Ecuación 2.1: Densidad Relativa (ASTM D.-0. , 2009)*

$$\text{Densidad Relativa} = (C - A) / [(B - A) - (D - C)]$$



*Ecuación 2.2: Densidad de Materiales Bituminosos Semisólidos (Métodos del Picnómetro)*  
(ASTM D.-0. , 2009)

$$\text{Densidad} = \text{Densidad Relativa} * W_T$$

$W_T$  = Densidad del agua a la Temperatura de Ensayo. A 25°C, 1kg/m<sup>3</sup>.

Según la tabla 7 de la norma INEN 2515 para el asfalto AC-20 debe darse en el informe.

*Fotografía 2.1: Preparación de las Muestras para Ensayo de Densidad*



*Fotografía 2.2: Preparación de las Muestras para Ensayo de Densidad*



### 2.1.1. Penetración

Este ensayo se rige mediante la norma ASTM D5/ D5M-13, la penetración es utilizado para medir la consistencia del asfalto, si los valores son altos significa que se tiene una consistencia suave. Consiste en verter el asfalto en un contenedor circular normado que depende de la penetración esperada, se lo deja enfriar a temperatura de ensayo con un periodo de (1 a 1h30) hora. Se coloca la muestra en el baño de agua para acondicionarla a temperatura de ensayo de 1 a 1h30, se va bajando la aguja de penetración hasta que se vea que la punta de la aguja que tope ligeramente con la muestra y se ve el reflejo de la aguja en la muestra, esto se puede hacer con la ayuda de una linterna, después se enciende el medidor de penetración del equipo y la aguja comienza a penetrar el material hasta que llegue a los 5 segundo con un peso de 100.01 gramos especificados, una vez que el equipo para se anota la lectura dada, este procedimiento se realiza 3 veces para obtener un promedio de las lecturas dadas.

Este ensayo no está dentro de tabla 7 de la norma INEN 2515, pero es utilizado para obtener el índice de penetración del asfalto.

Para el AC-20 se espera una penetración mayor a 60, para que el índice de penetración pueda pasar la norma.

*Fotografía 2.3: Preparación de la Muestra de Penetración*



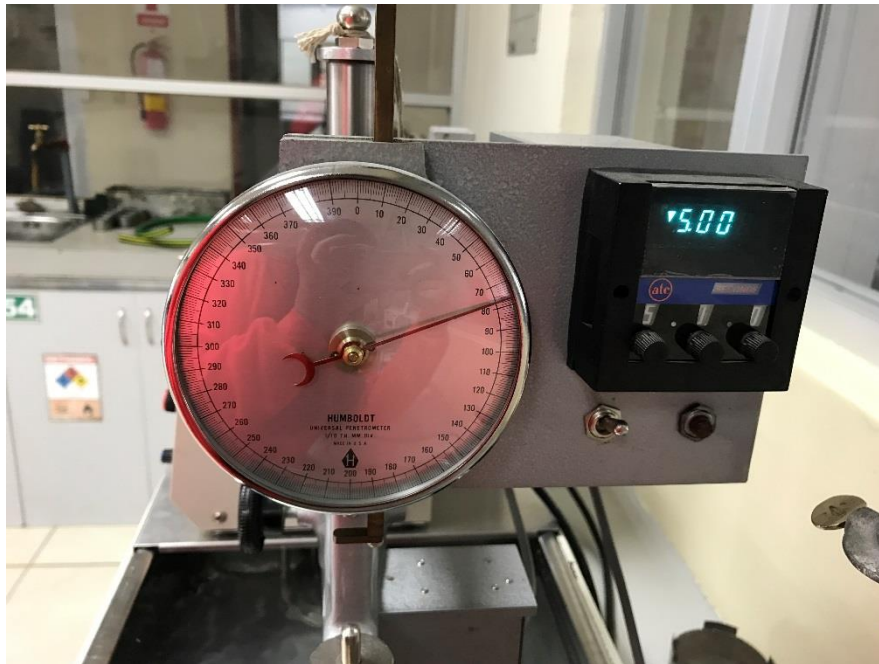
*Fotografía 2.4: Equipo Listo para la Realización del Ensayo de Penetración*



*Fotografía 2.5: Realización del Ensayo de Penetración*



*Fotografía 2.6: Medición del Ensayo de Penetración a los 5 segundos*



*Fotografía 2.7: Finalización del Ensayo de Penetración*



### **2.1.2. Viscosidad Absoluta a 60°C**

Este ensayo se rige mediante la norma ASTM D2171/D2171M-10, que es utilizado para materiales con viscosidades en el rango de 0.0036 hasta 20000 Pa\*s. una vez acondicionado el baño de Aceite de Silicona a  $60^{\circ}\text{C} \pm 0.3$ , se procede al calentamiento de la muestra conjuntamente con el viscosímetro a una temperatura de  $135^{\circ}\text{C}$  o hasta que la muestra se vuelva lo suficientemente fluida. Una vez caliente la muestra se coloca el asfalto fluido en el viscosímetro para que permita que el asfalto fluya a través de cada uno de los bulbos en un tiempo mayor a 60 segundos. Una vez colocada la muestra en el viscosímetro, se debe dejarlo

por 10 minutos en el horno a 135°C con la finalidad de eliminar las burbujas de aire posiblemente existentes al momento del llenado. Inmediatamente se la coloca en el baño por 30 minutos; transcurrido ese tiempo comienza el ensayo con la bomba de vacío la misma que aplica 300.3 mm Hg. Los resultados dependen de la lectura los cuales deben sobrepasar los 60 segundos.

Se la calcula con la siguiente ecuación:

*Ecuación 2.3: Viscosidad Absoluta (ASTM D.-1. , 2010)*

$$\text{Viscosidad, Pa} \cdot \text{s} = (Kt)$$

K = factor de calibración, Pa\*s/s

t = tiempo de flujo, s.

*Fotografía 2.8: Preparación de Muestras para el Ensayo de Viscosidad Absoluta a 60°C*





*Fotografía 2.9: Realización del Ensayo de Viscosidad Absoluta a 60°C*



### **2.1.3. Viscosidad Rotatoria**

Este ensayo se rige mediante la norma ASTM 2170-10, que es utilizado para medir la viscosidad aparente del asfalto en temperaturas elevadas. Se determina la viscosidad rotatoria con un equipo que realice un torque colocando la geometría en el interior de la muestra que nos ayuda a conocer la resistencia relativa a la rotación. Se la determina en Pa\*s al igual que el % del torque.

Se realiza una lectura a 135°C, esa lectura nos sirve para obtener la viscosidad cinemática a 135°C, como nos pide la tabla 7 de la norma INEN 2515.

*Fotografía 2.10: Preparación de las Muestras para el Ensayo de Viscosidad Rotatoria*



*Fotografía 2.11: Realización del Ensayo de Viscosidad Rotatoria*



#### **2.1.4. Efecto del Calor y el Aire en una Película Rodante de Asfalto (Ensayo del horno de Película Delgada Rodante RTFO)**

Este ensayo se rige mediante la norma ASTM D2872-12, este método nos ayuda a medir el efecto que tienen el aire y el calor en el asfalto, como cambian sus propiedades al estar a una temperatura de mezclado de 150°C. El ensayo produce un residuo que se asemeja a las condiciones del asfalto cuando se lo utiliza para el pavimento, se debe calentar el asfalto a una temperatura que no exceda los 150°C hasta que la mezcla esté fluida, se llenan mínimo 2 contenedores de vidrio normalizados para éste ensayo con  $35 \pm 0.5$ g, se coloca el contenedor horizontalmente y se lo hace rodar una rotación completa para que quede completamente cubierto, se coloca el contenedor en un estante limpio para que puedan enfriarse, los contenedores son colocados en el horno de película delgada rodante a 163°C durante 85 minutos, aquí estos sufrirán cambios físicos debido al calor y aire que se les aplica, terminado el tiempo en el horno se saca los contenedores, se los deja enfriar de 60 a 180 minutos. Una vez fríos se los vuelve a pesar.

Este ensayo no está dentro de tabla 7 de la norma INEN 2515, pero es utilizado para realizar los ensayos de viscosidad y ductilidad que se encuentran dentro de la tabla.

*Fotografía 2.12: Horno para RTFO*



*Fotografía 2.13: Preparación de las Muestras para el Ensayo de RTFO*





*Fotografía 2.14: Preparación de las Muestras para el Ensayo de RTFO*



*Fotografía 2.15: Preparación de las Muestras para el Ensayo de RTFO*



*Fotografía 2.16: Realización del Ensayo de RTFO*



### 2.1.5. Ensayo de Cambio de Masa utilizando Asfalto del RTFO

Este ensayo es obtenido mediante el ensayo del horno de película delgada rodante RTFO, se lo realiza para medir la volatilidad del asfalto mediante el cambio de masa. Consiste en pesar los especímenes antes de que entren al horno (RTFO) y después de que salgan del horno, la diferencia entre estos dos valores es el cambio de masa del asfalto, que puede darse en ganancia o en pérdida.

*Fotografía 2.17: Preparación de las Muestras del Ensayo de Cambio de Masa*



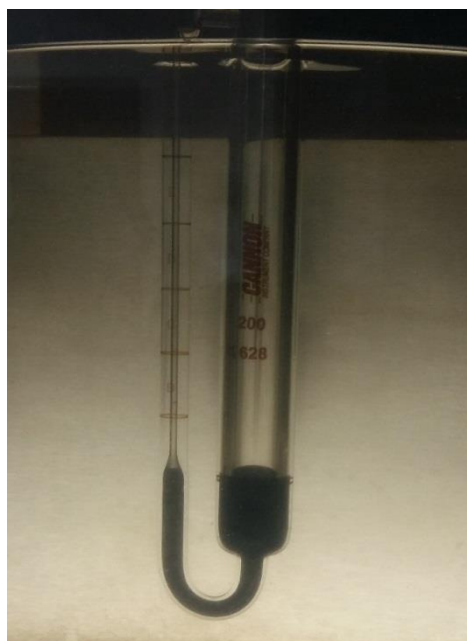
*Fotografía 2.18: Realización del Ensayo de Cambio de Masa*



#### **2.1.6. Viscosidad Absoluta del RTFO a 60°C.**

Se lo realiza de la misma manera que el ensayo antes mencionado en 2.1.3, pero con la diferencia que el asfalto debe ser envejecido mediante el horno del RTFO y también cambia las medidas del viscosímetro a 200.

*Fotografía 2.19: Preparación del Viscosímetro del Ensayo de Viscosidad Absoluta del RTFO a 60°C*



*Fotografía 2.20: Realización del Ensayo de Viscosidad Absoluta del RTFO a 60°C*



### **2.1.7. Ductilidad del Asfalto Envejecido (RTFO) a 25°C**

Este ensayo se rige mediante la norma ASTM D113-07, la ductilidad de un asfalto nos indica la medida de tensión de un material bituminoso. Consiste en moldear 3 especímenes con asfalto envejecido del ensayo de RTFO, se los deja enfriar a temperatura ambiente durante 35 minutos. Una vez fríos se los coloca en un baño de agua a 25°C por 35 minutos, se saca del agua los especímenes, se los enraza con una espátula caliente y se los desmolda sacando las piezas laterales y la base, luego en el baño de agua a 25°C durante 90 minutos, después de los coloca en los soportes adecuados en la máquina y se realiza el ensayo. Los especímenes son halados por la maquina con una velocidad especifica de  $5\text{cm/min} \pm 5.0\%$ , la maquina esta provista de una regleta graduada en cm. Se debe reportar la medida a la cual el espécimen se rompe, haciendo un promedio de los 3 valores obtenidos para sacar el valor de la ductilidad.

Según la Tabla 7 de la norma INEN 2515 para el asfalto AC-20 debe tener un mínimo de 50.



*Fotografía 2.21: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad*



*Fotografía 2.22: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad*



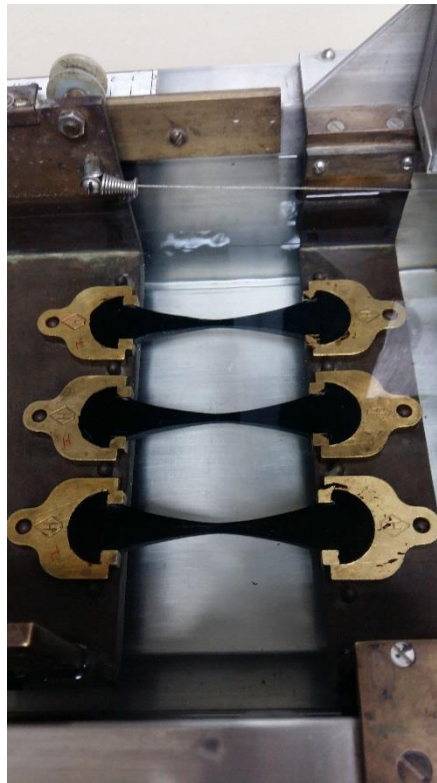
*Fotografía 2.23: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad*



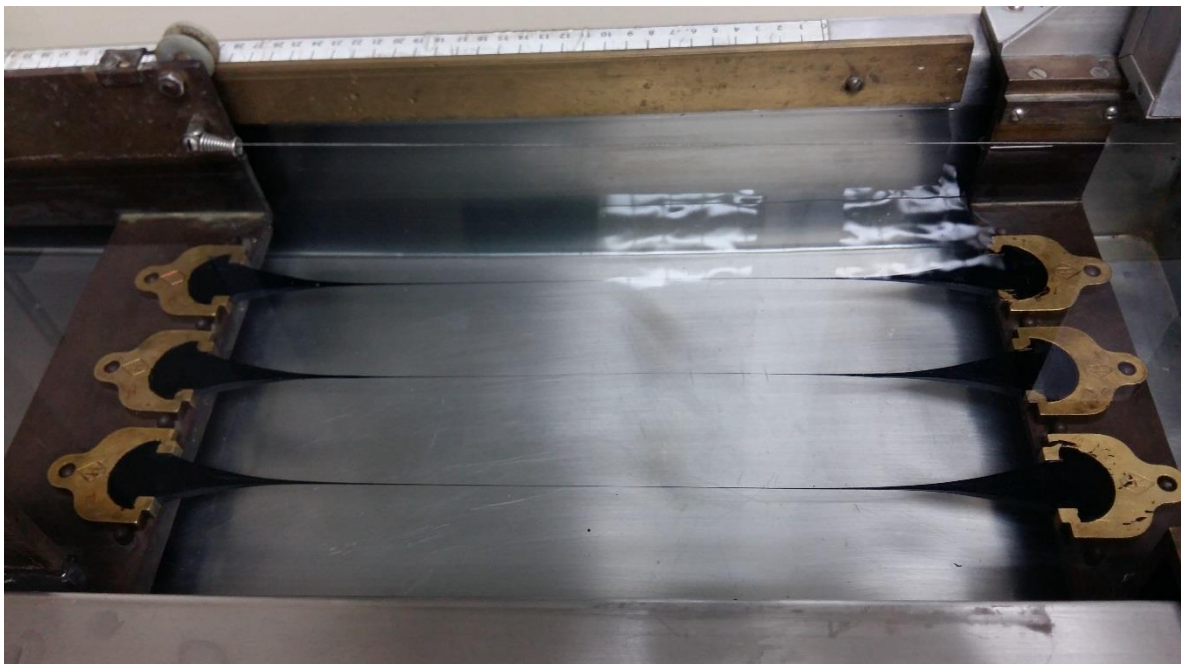
*Fotografía 2.24: Preparación de Briquetas para Ensayo de Ductilidad*



*Fotografía 2.25: Realización de Ensayo de Ductilidad*



*Fotografía 2.26: Realización de Ensayo de Ductilidad*



*Fotografía 2.27: Finalización de Ensayo de Ductilidad*



### **2.1.8. Punto de Reblandecimiento (Método de Anillo y Bola)**

Este ensayo se rige mediante la norma INEN 920:2013, el punto de reblandecimiento se debe considerar para cuando se transporta el asfalto para que mantenga su uniformidad y también nos indica como el material tiende a fluir cuando se lo usa a temperaturas elevadas. El método consiste en lo siguiente: “Dos discos horizontales de bitumen, sostenidos en anillos con borde de latón, se calientan a una velocidad controlada en un baño líquido, mientras cada uno de dichos discos soporta una bola de acero. El punto de reblandecimiento se reporta como la media de las temperaturas a la cual los dos discos reblandecen lo suficiente para permitir que cada bola, envuelta en bitumen, caiga una distancia de 25mm.” (INEN-920, 2013)

La temperatura para determinar el reblandecimiento debe estar entre 30°C y 157°C, la temperatura del agua a la cual se sumerge el equipo debe estar entre 30°C y 80°C.

Este ensayo no está dentro de Tabla 7 de la norma INEN 2515, pero es utilizado para obtener el índice de penetración del asfalto.



*Fotografía 2.28: Preparación de las Muestras para Ensayo de Reblandecimiento*



*Fotografía 2.29: Preparación de las Muestras para Ensayo de Reblandecimiento*



*Fotografía 2.30: Muestra a 45°C para el Ensayo de Reblandecimiento*



*Fotografía 2.31: Realización del Ensayo de Reblandecimiento*



*Fotografía 2.32: Finalización del Ensayo de Reblandecimiento*

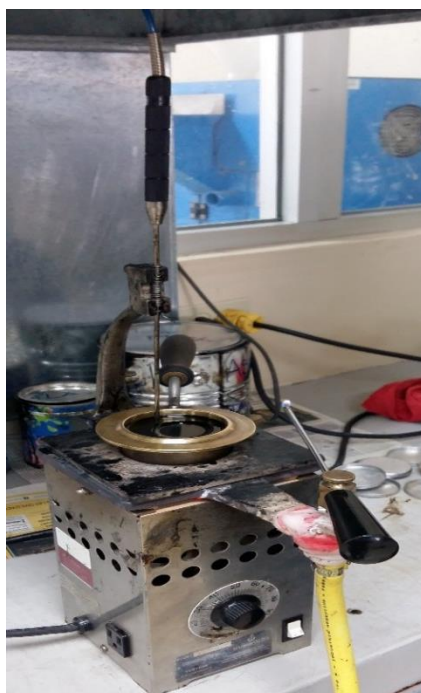


#### **2.1.9. Determinación del Punto de Inflamación y Encendido de los Productos del Petróleo con el Equipo de Copa Abierta Cleveland**

Este ensayo se rige mediante la norma ASTM D92-12b, el punto de inflamación mide la tendencia del asfalto para ser inflamable mediante condiciones de laboratorio controladas, esto es usado para que cuando se transporta el material se tengan las consideraciones de seguridad necesarias al indicar la presencia de materiales volátiles de un material considerado no volátil y que no exista peligro de inflamación y combustión. El punto de encendido indica a que temperatura puede el asfalto soportar combustión. El ensayo consiste en llenar la copa con asfalto, la temperatura de la copa y del asfalto no debe ser superior a 56°C por debajo del punto esperado de inflamación, se debe ir aplicando calor a una velocidad constante para que la temperatura aumente de 5°C a 17°C/min, llegado a los 56°C por debajo del punto de

inflamación esperado, se empieza a estabilizar la temperatura tal que suba de 5 a 6°C/min hasta llegar a los 28°C por debajo del punto de inflamación esperado, se mantiene ese rango hasta que concluya el ensayo, se comienza a pasar la flama por encima de la copa cada vez que la temperatura de un múltiplo de 2°C, se mueve la flama en plano horizontal, en una sola dirección a no más de 2mm por encima del borde la copa, cuando exista una pequeña chispa al pasar la flama se debe medir la temperatura y cuando existan una llama completa en la copa se considera el punto de inflamación midiendo la temperatura.

*Fotografía 2.33: Realización del Ensayo de Punto de Inflamación y Encendido*



*Fotografía 2.34: Realización del Ensayo de Punto de Inflamación y Encendido*



### **2.1.10. Viscosidad Cinemática a 135°C**

Este ensayo se rige bajo la norma ASTM D2170, el punto de inflamación mide la tendencia del asfalto para ser inflamable mediante condiciones de laboratorio controladas, esto es usado para que cuando se transporta el material se tengan las consideraciones de seguridad necesarias al indicar la presencia de materiales volátiles de un material considerado no volátil y que no exista peligro de inflamación y combustión.

*Nota:* La viscosidad cinemática se obtuvo a partir de la división de la viscosidad rotatoria para la densidad relativa.

### **2.1.11. Índice de Penetración**

Este índice propone un criterio de medida a la susceptibilidad térmica del asfalto, se lo calcula a partir de los datos obtenidos mediante los ensayos de penetración a 25°C de acuerdo con la norma ASTM D5/ D5M-13 y del punto de reblandecimiento determinada de acuerdo a la norma INEN 920:2013.

Ip se obtiene de la siguiente ecuación:

*Ecuación 2.4: Índice de Penetración (ASTM D.-1. , 2013)*

$$\text{Índice de Penetración (Ip)} = \frac{1952 - 500 * \log pen - 20 SP}{50 * \log pen - SP - 120}$$

Pen = Penetración a 25°C, 100g, 5s.

SP = Punto de Reblandecimiento, °C.

Algunos ensayos no son necesarios para calificar al asfalto, más bien sirven para obtener algunos factores que exige la Tabla 7 INEN 2515, la cual se encuentra en el Anexo 2.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA

A continuación, se describe el procedimiento para cada uno de los ensayos que se realizó a la mezcla asfáltica.

### 2.2.1. RICE

#### a. Norma de Referencia

ASTM D2041/D2041M – 11: Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures.

#### b. Alcance

Este ensayo cubre la determinación de la máxima gravedad específica teórica y densidad de mezclas de pavimento bituminoso no compactado a 25°C (ASTM D.-1. , 2011, pág. 1).

#### c. Significado y Uso

La máxima gravedad específica teórica y la densidad de mezclas de pavimento bituminoso son propiedades fundamentales, que dependen de la composición de la mezcla con respecto a la cantidad de agregados y ligante asfáltico (ASTM D.-1. , 2011, pág. 1).

Estos valores son usados para el cálculo del contenido de vacíos en mezclas compactadas, en el cálculo de la cantidad de bitumen absorbido por el agregado y para proporcionar los valores objetivos para la compactación de mezclas asfálticas (ASTM D.-1. , 2011, pág. 2).

#### d. Equipo Necesario

- ◆ Contenedor de metal el cual pueda resistir la presión aplicada. De dimensiones entre 80 y 260 mm de diámetro y altura mínima de 160 mm. Equipado con tapa de metal la cual tenga una junta de caucho que permita la conexión con la línea de vacío.
- ◆ Bomba de vacío que pueda soportar presiones residuales menores de 30 mm Hg.
- ◆ Manómetro de presión residual la cual se utiliza para confirmar la presión residual según la norma desde 25 mm Hg hasta 30 mm Hg.
- ◆ Manómetro usado para medir la presión en la fuente de vacío.
- ◆ Termómetros con una precisión de 0.5 °C.
- ◆ Baño de Agua que pueda mantenerse a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  constantemente.

- ♦ Válvula de purga la cual sirve para controlar la presión aplicada y liberación de la presión adjuntada a la línea de vacío.
- ♦ Maquina agitadora mecánica la cual se usa con el fin de aplicar una agitación consistente a la muestra de manera horaria y antihoraria.
- ♦ Horno que mantenga una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

e. Preparación de las Muestras

La masa mínima que se necesita para el ensayo se define según el tamaño máximo nominal del agregado (in).

*Tabla 2.1: Tamaño Mínimo de la Muestra*

<b>Tamaño Máximo Nominal del Agregado, in.</b>	<b>Masa mínima de muestreo, g.</b>
<i>1 1/2 o mayor</i>	5000
<i>3/4 a 1</i>	2500
<i>1/2 o menor</i>	1500

FUENTE: (ASTM D.-1. , 2011)

f. Procedimiento

- ♦ Al tener mezcla asfáltica separada y debidamente cuarteada en el laboratorio; se procedió a tomar una cantidad de 2.5 kg para realizar el ensayo, al estar la muestra tibia se disgrego con la mano cuidadosamente para que los agregados no se fracturen y la parte de agregado fino no supere los 6mm y se la deja enfriar hasta que llegue a temperatura ambiente.



*Fotografía 2.35: Cuarteo de la Mezcla Asfáltica*



- ✦ Una vez que ha adquirido la temperatura necesaria se procede a llenar el recipiente de metal con mezcla asfáltica y se la pesa; ese dato será denominado como **A**.

*Fotografía 2.36: Recipiente de Metal con Mezcla Asfáltica*





- ◆ Enseguida se añade al recipiente de metal agua del baño que tiene una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , hasta que sobrepase una pulgada desde la superficie de la mezcla.

*Fotografía 2.37: Recipiente de Metal con Mezcla Asfáltica y Agua*



- ◆ Ubicar el recipiente con la muestra y el agua en el agitador mecánico para expulsar las burbujas de aire existentes; empieza la agitación a una presión de  $27.5 \pm 2.5$  mm Hg. en un tiempo de 7.5 segundos en sentido horario y 7.5 segundos en sentido antihorario, después de realizada la agitación se retira el contenedor del agitador con mucho cuidado.

*Fotografía 2.38: Recipiente en el Agitador Mecánico*



- ◆ Sumergir el recipiente en el baño de agua a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  cuidadosamente para que no entren burbujas de aire al igual que se sumerge la tapa, por un periodo de tiempo de  $10 \pm 1$  min. Transcurrido ese tiempo se desliza la tapa encima del contenedor, se retira del baño, se lo seca completamente y se lo pesa. Ese valor será **C**.

*Fotografía 2.39: Recipiente Sumergido en el Baño de Agua*



- ◆ El valor **D** que se muestran en los Formatos de Laboratorio para este ensayo, se tomaron directamente como dato ya existente.

g. Cálculos

*Ecuación 2.5: Determinación con el Recipiente en el Aire (ASTM D.-1. , 2011)*

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

$G_{mm}$  = Gravedad específica máxima de la mezcla

A = Masa seca de la mezcla en el aire, g.

D = Masa del recipiente y la tapa con agua a  $25^\circ\text{C}$ , g.

E = Masa del recipiente, tapa, muestra y agua a  $25^\circ\text{C}$ , g.

Si se realizó más de un ensayo RICE, se debe hacer un promedio de los resultados para obtener la gravedad específica máxima de la mezcla.

## **2.2.2. Contenido de Asfalto mediante el Uso del Horno de Ignición**

### **a. Norma de referencia**

AASHTO T 308: Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method.

### **b. Alcance**

Este método cubre la determinación del contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente mediante ignición a temperaturas que alcanzan el punto de inflamación. Los medios para calentar la muestra pueden ser por el método de convección o el método de irradiación infrarroja directa (IR) (AASHTO T.-3. , 2013, pág. 1).

### **c. Significado y uso**

Este ensayo puede ser usado para determinaciones cuantitativas del contenido de asfalto y gradación en mezclas asfálticas en calientes para control de calidad, aceptación de especificaciones y estudios de evaluación de la muestra (AASHTO T.-3. , 2013, pág. 2).

### **d. Equipo Necesario**

- ♦ Horno de ignición: Horno de aire forzado que calienta la muestra, debe mantener la temperatura a 578 °C. Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para colocar un espécimen de 3500gr. El horno debe tener integrado una balanza aislada térmicamente de la cámara con una precisión de 0.1gr (AASHTO T.-3. , 2013, pág. 2).

*Fotografía 2.40: Horno de Ignición*



- ◆ El conjunto de la canastilla: Consiste en la canastilla para el espécimen, una bandeja y un sistema de acoplamiento. Debe poseer el tamaño apropiado para dejar circular el aire adecuadamente y repartir uniformemente la muestra en toda la bandeja. Se puede incorporar dos o más canastillas al sistema (AASHTO T.-3. , 2013, pág. 2).

*Fotografía 2.41: Conjunto de la Canastilla*



- ♣ Bandeja: debe poseer el tamaño suficiente para sostener a las canastillas y asegurar que todo el material fino y el asfalto diluido se deposite en ella (AASHTO T.-3. , 2013, pág. 2).
- ♣ Balanza
- ♣ Equipo de seguridad: gafas, guantes, mascarilla, canastilla de protección (AASHTO T.-3. , 2013, pág. 3).

#### e. Preparación de las Muestras

La masa que mínima y máxima que se necesita para el ensayo se define según el tamaño máximo nominal del agregado (in).

*Tabla 2.2: Tamaño Mínimo de la Muestra*

<b>Tamaño Máximo Nominal del Agregado, in.</b>	<b>Masa mínima de muestreo, g.</b>	<b>Masa máxima de muestreo, g.</b>
<i>No. 4</i>	1200	1700
<i>3/8</i>	1200	1700
<i>1/2</i>	1500	2000
<i>3/4</i>	2000	2500
<i>1</i>	3000	3500
<i>1 1/2</i>	4000	4500

FUENTE: (AASHTO T.-3. , 2013)

#### f. Procedimiento

- ♣ Se debe precalentar el horno de ignición a 538°C pero debido a limitaciones del equipo, el horno solo alcanza 430°C.
- ♣ Se pesa el conjunto de bandejas, para su registro, con una balanza de precisión de 0.1g.
- ♣ Colocamos la muestra a ensayarse dentro de las bandejas, tratando de que se distribuya uniformemente en ambas bandejas.
- ♣ Se registra la masa del conjunto canastillas, bandejas, muestra y tapa con una balanza de precisión de 0.1g, de este dato se calcula la masa inicial de la muestra al restar la masa del conjunto canastilla con bandejas del conjunto

canastilla, bandejas y muestra. El resultado de esta resta se debe introducir como dato en el controlador del horno para poder realizar el ensayo.

- ✦ El horno nos dará un valor de la masa inicial que se ingresa, y éste valor se debe comparar con el que se sacó anteriormente y no debe sobrepasar los 5g. Una vez verificado esto, se presiona el botón de START y el ensayo comienza.
- ✦ El controlador del horno nos imprime resultados de la pérdida de asfalto cada minuto, cuando ya finalizó el ensayo el horno nos avisa con indicadores auditivos y visuales-luminosos.
- ✦ Se presiona el botón END y se extrae la muestra, debido a que se encuentra a una temperatura muy alta se la debe colocar en un lugar resistente al calor y con la jaula de protección por encima para que no existan accidentes. Se deja que la muestra se enfríe en temperatura ambiente y se pesa para obtener la masa total final.

*Fotografía 2.42: Jaula de Protección con Conjunto de la Canastilla*



#### g. Cálculos

Para este ensayo no se realizan cálculos ya que la máquina imprime el resultado de una manera directa, los cuales se encuentran anexados en el presente documento.

### 2.2.3. Gravedad Específica Bulk

#### a. Norma de Referencia

ASTM D2726 – 11: Standard Test Method For Bulk Specific Gravity and Density Of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures.

#### b. Alcance

Este método cubre la determinación de la gravedad específica Bulk y la densidad de especímenes de mezclas bituminosas compactadas (ASTM D.-1. , 2011, pág. 1).

#### c. Significado y uso

Los resultados obtenidos en este ensayo pueden ser utilizados para determinar el peso unitario de mezclas bituminosas densas compactadas y en conjunto con el método de ensayo D3203 El porcentaje de vacíos. Los mismos que pueden ser utilizados para la obtención del grado de compactación relativa (ASTM D.-1. , 2011, pág. 2).

Debido a que la Gravedad específica es adimensional se la debe convertir en densidad multiplicándola por la densidad del agua a la temperatura del ensayo (ASTM D.-1. , 2011, pág. 2).

#### d. Equipo Necesario

- ◆ Balanza con apreciación de 0.01 gramos para poder colocar muestras en los rangos de 1000 gr hasta 9999 gr; debe tener un sistema que pueda medir en agua.
- ◆ Baño de Agua a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1$ , el cual debe mantener esta temperatura para sumergir al espécimen; en nuestro caso se mantuvo el baño de agua en un balde de plástico con agua calentada mediante una hornilla.
- ◆ Horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ◆ Termómetro con precisión de  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

#### e. Preparación de las Muestras

Para este ensayo se procedió a tomar mezclas bituminosas realizadas en el laboratorio; las mismas fueron utilizadas para el ensayo del módulo dinámico.

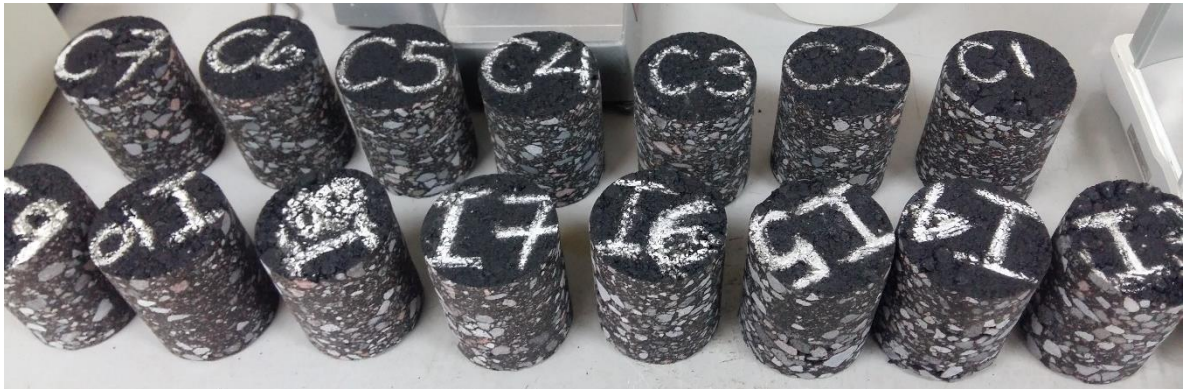
#### f. Procedimiento

- ◆ 24 horas antes de empezar el ensayo, se dejó los especímenes reposar en un horno a  $50^{\circ}\text{C}$  para evitar algún indicio de humedad.



- ✦ Transcurrido el tiempo se las mantuvo en reposo a temperatura ambiente por 1 hora y se procedió a determinar la masa seca en aire de las muestras designándolo como A.

*Fotografía 2.43: Muestras en Reposo*



- ✦ Para determinar la masa del espécimen en agua se sumerge la muestra completamente en el baño de agua a 25°C, alrededor de 4 minutos como especifica la norma para que la balanza pueda equilibrarse y nos dé un valor más confiable. A este parámetro se lo determinara como C.

*Fotografía 2.44: Muestra Sumergida en Agua a 25°C*





- ♣ El último valor es la masa de la muestra saturada en el aire con superficie seca, para determinarlo se seca la superficie de la muestra con una toalla inmediatamente después de que se obtiene el valor de C. a este último parámetro se lo denotara con la letra **B**.

g. Cálculos

*Ecuación 2.6: Determinación de Gravedad Específica BULK (ASTM D.-1. , 2011, pág. 4)*

$$GBULK = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Masa del Espécimen Seco en el Aire, gr.

B – C = Masa del Volumen de Agua para el volumen del Espécimen a 25°C.

B = Masa del Espécimen en aire saturado con superficie seca, gr.

C = masa del Espécimen sumergida en agua, gr.

*Ecuación 2.7: Cálculo de la Densidad de la Muestra (ASTM D.-1. , 2011, pág. 4)*

$$Densidad = GBULK * 997.0$$

Donde:

997.0 = Densidad del agua en kg/m³ a 25°C

*Ecuación 2.8: Cálculo de Agua Absorbida por el Espécimen en Porcentaje (ASTM D.-1. , 2011, pág. 4)*

$$\% \text{ de Agua absorbida por volumen} = \frac{B-A}{B-C} * 100$$

Según la Norma si el porcentaje de agua absorbida supera el 2% se debe realizar el método de ensayo D1188 o D6752, en nuestro caso, las briquetas se mantuvieron en el rango permitido (ASTM D.-1. , 2011, pág. 4).

## 2.2. MÓDULO DINÁMICO

### 1. Norma de Referencia

AASHTO TP 62-03: Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures

### 2. Alcance

Este método cubre los procedimientos para preparar y ensayar mezclas de concreto asfáltico, para determinar el módulo dinámico y el ángulo de fase para un rango de temperaturas y frecuencias de cargas (AASHTO T.-0. , 2003, pág. 2).

### 3. Significado y uso

Los valores del módulo dinámico registrados para un rango de temperaturas y frecuencias de cargas pueden ser ajustados para generar la curva maestra y caracterización de concreto asfáltico en el diseño de la estructura del pavimento y el análisis de su desempeño (AASHTO T.-0. , 2003, pág. 4).

### 4. Equipo Necesario

- ♦ Sistema de ensayo de módulo dinámico (Máquina Universal COOPER): El sistema consta de la máquina de ensayo, cámara de ambientador, y el sistema de medición.

*Fotografía 2.45: Sistema de Ensayo de Módulo Dinámico (Máquina Universal COOPER)*



- ♣ Máquina de ensayo: máquina de prueba servo-hidráulica capaz de producir una carga cíclica de compresión controlada. Debe producir un rango de frecuencias entre 0.1 y 25 Hz, y un nivel de esfuerzo de 2800 kPa. Para carga sinusoidal, el error estándar de la carga aplicada debe ser menor al 5%.
- ♣ Cámara ambientadora: capaz de controlar la temperatura del espécimen ensayado. El rango de temperatura a las que debe estar sujeta es -10 a 60 °C con una apreciación de  $\pm 0.5$  °C. El tamaño de la cámara debe ser suficiente para acomodar los especímenes de ensayo y un espécimen de control al cual se le acoplan dos sensores termoelectrónicos en el centro del núcleo para controlar la temperatura.

*Fotografía 2.46: Cámara Ambientadora*



- ♣ Sistema de Medición: El sistema se lo debe controlar mediante el uso de computadora capaz de medir y registrar el tiempo de la carga aplicada y las deformaciones axiales. Debe ser capaz de medir el periodo de la carga sinusoidal aplicada y las deformaciones resultantes con una apreciación del 0.5%.

- ♣ LVDT: Son conocidos por sus siglas en inglés, Linear Variable Differential Transformers, estos elementos son colocados entre dos apoyos fijos del espécimen para medir su deformación. Su colocación puede ser de tres maneras: dos LVDT a 180° de separación, tres LDVT a 120° de separación y cuatro LVDT a 90° de separación.
- ♣ Platinas de carga: cuyo dimensión debe ser  $104.5 \pm 0.5$  mm, y se requiere colocarlas una en la base del espécimen y otra en su parte superior para transferir la carga de la máquina de ensayo al espécimen.
- ♣ Reductores de fricción: deben ser colocados entre la muestra y las platinas de carga, pueden ser dos hojas de teflón o membranas de látex de 0.5 mm de espesor y estar cubiertas por grasa de silicona para reducir al máximo esfuerzos de fricción.

*Fotografía 2.47: Platinas de Carga con los Reductores de Fricción*



- ♣ Apoyos metálicos: son colocados en los puntos en donde estarán ubicados los LVDT siendo sus apoyos para poder medir la deformación. Estos deberán estar pegados firmemente a la muestra mediante epóxico.

*Fotografía 2.48: Apoyos Metálicos siendo Pegados a la Muestra*



*Fotografía 2.49: Muestra con Apoyos Metálicos*



- ◆ Compactador Giratorio Superpave: sirve para preparar las muestras de laboratorio en concordancia con la AASHTO T 312. Debe ser capaz de compactar especímenes de 170 mm de espesor.

*Fotografía 2.50: Compactador Giratorio Superpave con Muestra en su Interior*



*Fotografía 2.51: Muestra Salida del Compactador Giratorio Superpave*





- ▲ Perforadora de núcleo: La perforadora debe ser capaz de cortar un núcleo de la muestra hasta obtener la dimensión requerida para el ensayo, la cual puede variar de 100 a 104 mm de diámetro. Este equipo debe poseer broca de diamante y estar perfectamente empotrado para reducir al mínimo el exceso de calor o impacto que puede producir imperfecciones.

*Fotografía 2.52: Perforadora Extrayendo los Núcleos de las Muestras*



*Fotografía 2.53: Núcleo Extraído*





## 5. Preparación de las Muestras

Según la Norma AASHTO T 312 se realiza la compactación de la muestra.

- ✦ Se prende el compactador giratorio con un tiempo estimado según el manual.
- ✦ Se calibra el compactador giratorio.
- ✦ Se debe precalentar el molde y el plato base antes de verter la mezcla.
- ✦ En un horno a  $137,5 - 142,7$  °C en el caso de la mezcla de la mina de Tahuando-Ibarra y de  $138,5 - 143,7$  °C para la mina de Cariyacu- Cotacahi se deben precalentar las mezclas asfálticas para poder verterla en el molde.
- ✦ Cuando la temperatura de la mezcla asfáltica es la requerida se saca del horno el molde y el plato base, se coloca un disco de papel en el fondo del molde antes de poner la mezcla.
- ✦ Se toma una cantidad aproximada de 5200 gramos de la muestra con la ayuda de una cuchara, colocándola en el embudo con cuidado de que no se riegue y que no exista segregación del material.
- ✦ Se debe enrasar la mezcla y se coloca un disco de papel encima, dentro del molde.
- ✦ Poner el molde dentro de la cámara de compactación y se le centra para que quede alineada con el pistón del equipo.
- ✦ Se ingresan los datos de presión, ángulo y giros por minuto en la configuración de la maquina compactadora, se presiona inicio y se espera a que el proceso de compactación termine.
- ✦ Una vez finalizada la compactación se coloca el molde encima del gato hidráulico para que pueda extraerse la muestra sin que sufra daños.
- ✦ Se deja enfriar la muestra con la ayuda de un ventilador hasta que se la pueda trasladar.
- ✦ Se retira los discos de papel de la muestra.
- ✦ La extracción del núcleo de las muestras se lo realiza con una perforadora de núcleos, con los respectivos cuidados para que no existan deformaciones en la muestra, obteniendo un espécimen cilíndrico de paredes lisas. Se obtienen especímenes de un diámetro de 100 a 104 mm con una desviación estándar de 1 mm, la altura debe estar entre 147.5 a 152.5 mm.. (Las

muestras ensayadas tienen una altura promedio de 100.92mm de diámetro y 126.09mm de alto).

- ♣ Se coloca los apoyos metálicos necesarios para sostener los LVDT, estos serán pegados con un epóxico duro de secado rápido. La distancia que deben tener los apoyos es de  $101.6 \pm 1$  mm, para que los apoyos se peguen y el epóxico fragüe se utiliza una máquina que mantiene pegados los apoyos a la muestra con la ayuda de una bomba de aire que los aprieta.

## 6. Procedimiento

- ♣ Para el desarrollo de curvas maestras se necesita ensayar en algunas series, para respuesta y análisis de desempeño se tienen temperaturas de: -10, 4, 21, 37 y 54°C; para cargas de frecuencia son: 0.1, 0.5, 1, 5, 10 y 25 Hz para cada una de las temperaturas mencionadas anteriormente.

Los especímenes son ensayados individualmente con los LVDT, para las 30 combinaciones de frecuencia de carga y temperatura. El ensayo comienza con las temperaturas bajas hasta llegar a las altas, con las frecuencias se comienza con las altas hasta llegar a las bajas.

- ♣ En la cámara ambientadora se coloca el espécimen, la cámara debe poder equilibrar la temperatura del ensayo con un error de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Al espécimen de control se le colocan los sensores termoeléctricos en el centro, esto se realiza para que los mismos puedan determinar cuando los especímenes hayan alcanzado la temperatura de ensayo.

A continuación en la Tabla 2.3 se presentan los tiempos aproximados que se deben esperar para cada cambio de temperatura:

*Tabla 2.3: Tiempos Recomendados para la Adecuación de la Temperatura*

Temperatura del Especimen, °C	Tiempo para la Adecuación de Temperatura, Horas
-10	Durante la noche
4	4 horas o durante la noche
21	3
37	2
54	1

FUENTE: (AASHTO T.-0. , 2003)

- ◆ Colocar los reductores de fricción en las platinas de carga tanto inferior como superior. Se ubica el espécimen en el soporte base verificando que este centrado con el pistón hidráulico para evitar que existan excentricidades de carga durante el ensayo. Ubicar los LVDT en los apoyos.

*Fotografía 2.54: Especimen Ubicado en el Soporte Base con los LVDT*



- ◆ La carga de contacto que se debe aplicar debe ser equivalente al 5% de la carga dinámica aplicada en el espécimen. Se considera aceptable incrementar el esfuerzo de contacto a 20kPa para tener una mejor eficiencia del control de la máquina, aplicando una carga que permita el contacto positivo con el espécimen sin que sufra ningún daño.
- ◆ Se deben ajustar las configuraciones y balances del sistema de medición electrónicos que sean necesarias.
- ◆ Aplicar una carga sinusoidal al espécimen de manera cíclica. Se debe ajustar la carga dinámica para obtener esfuerzos axiales en el rango de 50 y 150 microstrain. Este ajuste viene dado en la Tabla 2.4:

*Tabla 2.4: Rango de Valores del Esfuerzo Dinámico*

Temperatura, °C	Rango, kPa	Valor Utilizado, kPa
-10	1400 – 2800	2000
4	700 – 1400	1050
21	350 – 700	525
37	140 – 250	195
54	35 – 70	50

FUENTE: (AASHTO T.-0. , 2003)

- ♣ Al principio del ensayo la muestra debe estar pre-acondiciona con 200 ciclos a 25 Hz. El número de ciclos para cada frecuencia se determinan con la Tabla 2.5:

*Tabla 2.5: Número de Ciclos por cada Frecuencia*

Frecuencia, Hz	Número de Ciclos
25	200
10	200
5	100
1	20
0.5	15
0.1	15

FUENTE: (AASHTO T.-0. , 2003)

Entre cada frecuencia se tiene un periodo típico de descanso, el cual es de dos minutos, el periodo no debe ser mayor que 30 minutos entre dos frecuencias consecutivas.

*Fotografía 2.55: Especímenes dentro del Equipo de Ensayo*



## **CAPÍTULO III**

### **TABULACIÓN, ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO**

#### **3.1. Caracterización del Agregado**

##### **3.1.1. MINA 1 (TAHUANDO - IBARRA)**

En la mina Tahuando ubicada en la ciudad de Ibarra cuenta con 3 tipos de agregado mineral: Agregado fino, Material  $\frac{1}{2}$ , Material  $\frac{3}{4}$ ; y su caracterización se encuentran resumida en la Tabla 3.1.

*Tabla 3.1: Tabla Resumen de Ensayos "Caracterización de los Agregados de la Mina 1(Tahuando - Ibarra)"*

Tabla Resumen de Ensayos "Caracterización de los Agregados de la Mina 1(Tahuando - Ibarra)"						
ENSAYO		Norma	Fórmulas	SIGNIFICADO	DATOS	Resultado
NO.	NOMBRE					
1	Terrones de Arcilla en el Agregado Fino	ASTM C 142	$P = [(M \cdot R) / R] \cdot 100$	M= Masa Inicial de la Muestra R= Masa Retenida en Tamiz N°20 después del ensayo	M= 116,90 gr R= 116,30 gr	0,50%
2	Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Fino Procedimiento Gravimétrico	ASTM C 128	GES= $A / (B + S - C)$ GESS= $S / (B + S - C)$ GEA= $A / (B + A - C)$	A= Masa de la Muestra Seca B= Masa del Matraz mas Agua C= Masa Conjunto: Matraz, agua y muestra S= Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca	A= 486,70 gr B= 660,30 gr C= 968,10 gr S= 504,40 gr	GES= 2,48 GESS= 2,57 GEA= 2,72  Ab= 3,6 %
3	Material que pasa el Tamiz N° 200	ASTM C 117	$A = (B - C) / B \cdot 100$	B= Masa Seca de la muestra antes del ensayo C= Masa Seca de la muestra después del ensayo	B= 321,8 gr C= 282,8 gr	12,10%
4	Equivalente de Arena	ASSHTO T 176	$C = (B/A) \cdot 100$	A= Lectura Inicial B= Lectura Final	A= 4,8" B= 4,0"	83%
5	Partículas Livianas en los Agregados	ASTM C 123	$A = (B - C) / B \cdot 100$	B= Masa Seca de la muestra antes del ensayo C= Masa Seca de la muestra después del ensayo	B= 205,0 gr C= 205,0 gr	0,00%
6	Peso Unitario de los Agregados (Agregado Fino)	ASTM C 29	Ms= A - P Mc= B - P	P= Masa Molde V= Volumen Molde A= Masa Molde + Material Suelto B= Masa Molde + Material Compacto	P= 5050,0 gr V= 2980,0 cm³ A= 10275,0 gr B= 10605,0 gr	Peso Unitario Suelto Ms/V= 1753 kg/m³ Peso Unitario Compacto Mc/V= 1864 kg/m³
7	Peso Unitario de los Agregados (Agregado Grueso 1/2")	ASTM C 29	Ms= A - P Mc= B - P	P= Masa Molde V= Volumen Molde A= Masa Molde + Material Suelto B= Masa Molde + Material Compacto	P= 5050,0 gr V= 2980,0 cm³ A= 9120,0 gr B= 9375,0 gr	Peso Unitario Suelto Ms/V= 1366 kg/m³ Peso Unitario Compacto Mc/V= 1451 kg/m³
8	Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Grueso 1/2"	ASTM C 1287	GES= $A / (B - C)$ GESS= $S / (B - C)$ GEA= $A / (A - C)$	A= Masa de la Muestra Seca B= Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca C= Masa Aparente de la Muestra Saturada con Superficie Seca	A= 2994,00 gr B= 3067,00 gr C= 1863,00 gr	GES= 2,49 GESS= 2,55 GEA= 2,65  Ab= 2,4 %
10	Terrones de Arcilla en el Agregado Grueso 1/2" Pasa 3/4" y Retiene 3/8"	ASTM C 142-97	% Retenido Parcial= M. Retenida/M. Total * 100 %Que pasa= M. Inicial - M. Retenida del Ensayo/M. Inicial * 100 %Parcial de Arcilla= % Retenido Parcial* % Que Pasa /100	-	Ver Anexo	Ver Anexo
11	Partículas Alargadas y Planas Partículas Planas Partículas Alargadas y Planas (Agregado Grueso 1/2")	ASTM D 4791	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo
12	Partículas Fracturadas (Agregado Grueso 1/2")	ASTM D 5821	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo
13	Durabilidad de los áridos a los sulfatos (Agregado Grueso 1/2")	ASTM C 88	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo
14	Peso Unitario de los Agregados (Agregado Grueso 3/4")	ASTM C 29	Ms= A - P Mc= B - P	P= Masa Molde V= Volumen Molde A= Masa Molde + Material Suelto B= Masa Molde + Material Compacto	P= 8530,0 gr V= 9950,0 cm³ A= 21900,0 gr B= 22975,0 gr	Peso Unitario Suelto Ms/V= 1344 kg/m³ Peso Unitario Compacto Mc/V= 1452 kg/m³
15	Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Grueso 3/4"	ASTM C 1287	GES= $A / (B - C)$ GESS= $S / (B - C)$ GEA= $A / (A - C)$	A= Masa de la Muestra Seca B= Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca C= Masa Aparente de la Muestra Saturada con Superficie Seca	A= 3972,00 gr B= 4057,00 gr C= 2472,00 gr	GES= 2,51 GESS= 2,56 GEA= 2,65  Ab= 2,1 %
16	Abrasión e Impacto por la Máquina de los Ángeles (Agregado Grueso 3/4")	ASTM C 131	% de desgaste= $(C/A) \cdot 100$ Masa que pasa el Tamiz N°12= (A-B)	Tipo de Gradación: B A= Masa Inicial de la Muestra B= Masa retenida en el Tamiz N°12 después de 500 revoluciones C= Masa que pasa el Tamiz N° 12	A= 5007 gr B= 3038 gr C= 1969 gr	39%
17	Terrones de Arcilla en el Agregado Grueso 3/4" Pasa 3/4" y Retiene 3/8"	ASTM C 142-97	% Retenido Parcial= M. Retenida/M. Total * 100 %Que pasa= M. Inicial - M. Retenida del Ensayo/M. Inicial * 100 %Parcial de Arcilla= % Retenido Parcial* % Que Pasa /100	-	Ver Anexo	Ver Anexo
18	Partículas Alargadas Partículas Planas Partículas Alargadas y Planas (Agregado Grueso 3/4")	ASTM D 4791	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo
19	Partículas Fracturadas (Agregado Grueso 3/4")	ASTM D 5821	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo
20	Durabilidad de los áridos a los sulfatos (Agregado Grueso 3/4")	ASTM C 88	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo



### 3.1.2. MINA 2 (CARIYACU - COTACACHI)

La mina Cariyacu, ubicada en la ciudad de Cotacachi cuenta con dos tipos de agregado mineral: Agregado fino y Material ½ y su caracterización se encuentra resumida en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Tabla Resumen de Ensayos "Caracterización de los Agregados de la Mina 2 (Cariyacu - Cotacachi)"

Tabla Resumen de Ensayos "Caracterización de los Agregados de la Mina 2 (Cariyacu - Cotacachi)"						
ENSAYO		Norma	Fórmulas	SIGNIFICADO	DATOS	Resultado
NO.	NOMBRE					
1	Terrones de Arcilla en el Agregado Fino	ASTM C 142	$P = [(M \cdot R) / R] \cdot 100$	M= Masa Inicial de la Muestra R= Masa Retenida en Tamiz N°20 después del ensayo	M=120.00 gr R= 117.80 gr	1,80%
2	Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Fino Procedimiento Gravimétrico	ASTM C 128	GES= A/(B+S-C) GESS= S/(B+S-C) GEA= A/(B+A-C)	A= Masa de la Muestra Seca B= Masa del Matraz mas Agua C= Masa Conjunto: Matraz, agua y muestra S= Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca	A= 479.10 gr B= 660.30 gr C= 964.10 gr S= 501.30 gr	GES= 2.43 GESS= 2.54 GEA= 2.73  Ab= 4.6 %
3	Material que pasa el Tamiz N° 200	ASTM C 117	$A = (B - C) / B \cdot 100$	B= Masa Seca de la muestra antes del ensayo C= Masa Seca de la muestra después del ensayo	B=314.3 gr C=270.5 gr	13,90%
4	Equivalente de Arena	ASSHTO T 176	$C = (B/A) \cdot 100$	A=Lectura Inicial B=Lectura Final	A= 4.8" B= 3.6 "	75%
5	Partículas Livianas en los Agregados	ASTM C 123	$A = (B - C) / B \cdot 100$	B= Masa Seca de la muestra antes del ensayo C= Masa Seca de la muestra después del ensayo	B=202.6 gr C=200.4 gr	1,09%
6	Peso Unitario de los Agregados (Agregado Fino)	ASTM C 29	Ms= A - P Mc= B - P	P= Masa Molde V=Volumen Molde A= Masa Molde + Material Suelto B= Masa Molde + Material Compacto	P= 5050.0 gr V=2980.0 cm³ A= 9880.0 gr B= 10215.0 gr	Peso Unitario Suelto Ms/V= 1621 kg/m³ Peso Unitario Compacto Mc/V= 1733 kg/m³
7	Peso Unitario de los Agregados (Agregado Grueso)	ASTM C 29	Ms= A - P Mc= B - P	P= Masa Molde V=Volumen Molde A= Masa Molde + Material Suelto B= Masa Molde + Material Compacto	P= 8530.0 gr V=9950.0 cm³ A= 21245.0 gr B= 22330.0 gr	Peso Unitario Suelto Ms/V= 1278 kg/m³ Peso Unitario Compacto Mc/V= 1387 kg/m³
8	Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Grueso	ASTM C 1287	GES= A/(B-C) GESS= S/(B-C) GEA= A/(A-C)	A= Masa de la Muestra Seca B= Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca C= Masa Aparente de la Muestra Saturada con Superficie Seca	A= 3358.00 gr B= 3459.00 gr C= 2136.00 gr	GES= 2.54 GESS= 2.61 GEA= 2.75  Ab= 3.0 %
9	Abrasión e Impacto por la Máquina de los Ángeles	ASTM C 131	Porcentaje de desgaste= (C/A) * 100 Masa que pasa el Tamiz N°12= (A-B)	Tipo de Gradación: B A= Masa Inicial de la Muestra B= Masa retenida en el Tamiz N°12 después de 500 revoluciones C= Masa que pasa el Tamiz N° 12	A= 5005 gr B= 2580 gr C= 2425 gr	48%
10	Terrones de Arcilla en el Agregado Grueso Pasa 3/4" y Retiene 3/8"	ASTM C 142-97	% Retenido Parcial= M. Retenida/M. Total * 100 %Que pasa=M. Inicial - M. Retenida del Ensayo/M. Inicial * 100 %Parcial de Arcilla= % Retenido Parcial* % Que Pasa /100	-	Ver Anexo	Ver Anexo
11	Partículas Alargadas Partículas Planas Partículas Alargadas y Planas	ASTM D 4791	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo
12	Partículas Fracturadas	ASTM D 5821	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo
13	Durabilidad de los áridos a los sulfatos	ASTM C 88	-	-	Ver Anexo	Ver Anexo

## 3.2. Caracterización del Asfalto

### 3.2.1. MINA 1 (TAHUANDO - IBARRA)

En la mina Tahuando se utiliza asfalto extraído de la Refinería de Esmeraldas, se realizaron todos los ensayos para su calificación y se encuentran en la Tabla 3.3.

*Tabla 3.3: Tabla Resumen de Ensayos de Caracterización del Asfalto (AC-20) de la Mina 1 (Ibarra)*

Tabla Resumen de Ensayos de Caracterización del Asfalto (AC-20) de la Mina 1 (Ibarra)								
ENSAYO		Norma	Temperatura (°C)	Límites Según INEN 2515:2014, Tabla 7		Resultado		Cumple
NO.	NOMBRE			Mínimo	Máximo	Valor	Unidades	
1	Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5 M-13	25	-	-	74	mm	-
2	Horno de Película Delgada Rodante	ASTM D2872-12	-	-	1	-0,035	%	SI
3	Determinación de Viscosidad de Asfaltos por Viscosímetro Capilar al Vacío (Normal)	ASTM D2171/D2171M-10	60	160	240	182,578	Pa.s	SI
4	Punto de Ablandamiento de Bitúmen (Aparato de Anillo y Bola)	ASTM D36/D36M-12	-	-	-	48,35	°C	-
5	Determinación de Viscosidad de Asfaltos por Viscosímetro Capilar al Vacío (Envejecido)	ASTM D2171/D2171M-10	60	-	800	681,227	Pa.s	SI
6	Densidad de Materiales Bituminosos Semisólidos (Método del Picnómetro)	ASTM D70-09	25	-	-	1007,293	kg/m <sup>3</sup>	-
7	Ductilidad de Materiales Bituminosos	ASTM D113-07	25	50	-	55	cm	SI
8	Determinación de Punto de Chispa y Llama de Materiales Bituminosos con el Equipo de Copa Abierta Cleveland	ASTM D92-12b	-	232	-	P.Chispa: 309	°C	SI
						P.Llama: 342	°C	SI
9	Índice de Penetración	ASTM D3381/D3381M-12	25	-1,5	1	-0,7	-	SI
10	Cálculo de Viscosidad Cinemática de Asfaltos (Bitúmenes)	-	135	300	-	366,782	mm <sup>2</sup> /s	SI
11	Viscosidad del Asfalto a Elevadas Temperaturas usando un Viscosímetro Rotatorio	ASTM D4402/D4402M-12	135	-	-	Viscosidad: 0,346	Pa.s	-
						Torque: 69,3	%	-

### 3.2.2. MINA 2 (CARIYACU - COTACACHI)

En la mina Cariyacu se utiliza también asfalto extraído de la Refinería de Esmeraldas, todos los ensayos de calificación del asfalto se encuentran en la Tabla 3.4.

*Tabla 3.4: Tabla Resumen de Ensayos de Caracterización del Asfalto (AC-20) de la Mina 2 (Cotacachi)*

Tabla Resumen de Ensayos de Caracterización del Asfalto (AC-20) de la Mina 2 (Cotacachi)								
ENSAYO		Norma	Temperatura (°C)	Límites Según INEN		Resultado		Cumple
NO.	NOMBRE			Mínimo	Máximo	Valor	Unidades	
1	Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5 M-13	25	-	-	73	mm	-
2	Horno de Película Delgada Rodante	ASTM D2872-12	-	-	1	-0,075	%	SI
3	Determinación de Viscosidad de Asfaltos por Viscosímetro Capilar al Vacío (Normal)	ASTM D2171/D2171M-10	60	160	240	199,007	Pa.s	SI
4	Punto de Ablandamiento de Bitumen (Aparato de Anillo y Bola)	ASTM D36/D36M-12	-	-	-	49,25	°C	-
5	Determinación de Viscosidad de Asfaltos por Viscosímetro Capilar al Vacío (Envejecido)	ASTM D2171/D2171M-10	60	-	800	777,092	Pa.s	SI
6	Densidad de Materiales Bituminosos Semisólidos (Método del Picnómetro)	ASTM D70-09	25	-	-	1006,7	kg/m³	-
7	Ductilidad de Materiales Bituminosos	ASTM D113-07	25	50	-	50	cm	SI
8	Determinación de Punto de Chispa y Llama de Materiales Bituminosos con el Equipo de Copa Abierta Cleveland	ASTM D92-12b	-	232	-	P.Chispa: 327	°C	SI
						P. Llama: 334	°C	SI
9	Índice de Penetración	ASTM D3381/D3381M-12	25	-1,5	1	-0,5	-	SI
10	Cálculo de Viscosidad Cinemática de Asfaltos (Bitúmenes)	-	135	300	-	380,033	mm²/s	SI
11	Viscosidad del Asfalto a Elevadas Temperaturas usando un Viscosímetro Rotatorio	ASTM D4402/D4402M-12	135	-	-	Viscosidad: 0,359	Pa.s	-
						Torque: 71,7	%	-

### **3.3. Caracterización de la Mezcla**

#### **3.3.1. MEZCLA 1 (TAHUANDO - IBARRA)**

##### *3.3.1.1. Granulometría*

Se tomaron 2 muestras de mezcla asfáltica para realizar el ensayo de porcentaje de pérdida de bitumen mediante el horno de ignición ya que el material restante del mismo nos sirve para realizar la granulometría.

Ulteriormente se presenta la gráfica granulométrica en escala semi-logaritmica con los límites especificados dados por la Norma MOP 001 – F – 2002.

Figura 3.1: Gráfica Granulométrica en Escala Semi-Logarítmica (Tahuando-Ibarra)

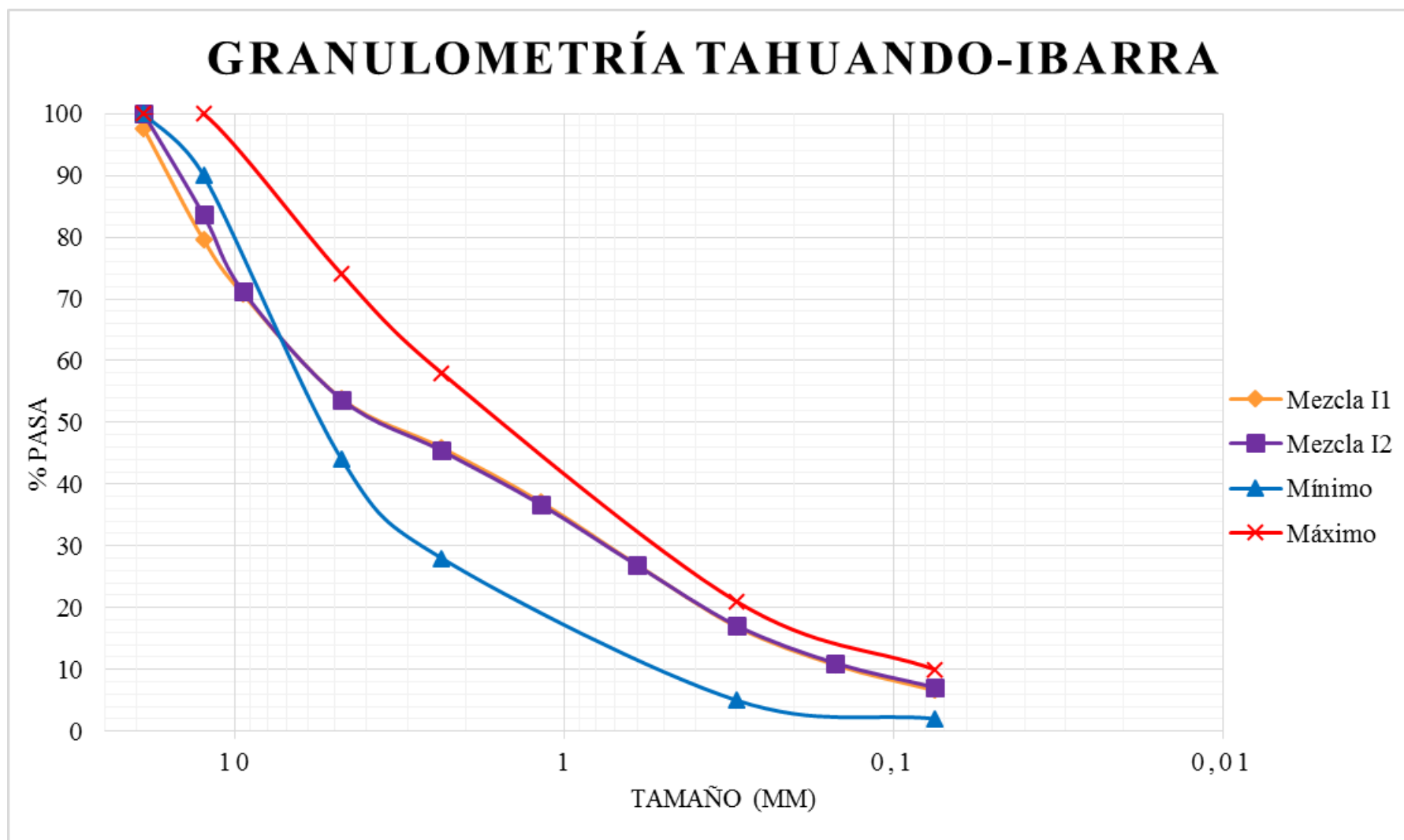


Tabla 3.5: Granulometría de Agregados de la Mina Tahuando (Muestra No.01)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					
Obra			SOLICITADO POR		
Localización	Imbaya - Ibarra		ENSAYADOR POR		
Muestra No	1		CALCULADO POR		
Profundidad			APROBADO POR		
Descripción	Mina Tahuando		FECHA		
NORMA			AASHTO T 27-06		
GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS					
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
Serie Gruesa					
3"	76,2				
2 ½ "	64				
2"	50,8				
1 ½ "	38,1				
1 "	25,4				
3/4 "	19	24,20	24,20	2,4	97,6
1/2 "	12,7	184,60	208,80	20,4	79,6
3/8 "	9,51	90,40	299,20	29,2	70,8
N°4	4,76	174,90	474,10	46,2	53,8
N°8	2,362	80,90	555,00	54,1	45,9
N°16	1,19	89,80	644,80	62,9	37,1
N°30	0,595	105,20	750,00	73,1	26,9
N°50	0,297	102,00	852,00	83,1	16,9
N°100	0,149	63,40	915,40	89,3	10,7
N°200	0,074	42,10	957,50	93,4	6,6
Masa Total		957,50			
			Peso Inicial Seco		1025,63

Tabla 3.6: Granulometría de Agregados de la Mina Tahuando (Muestra No.02)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					
Obra			SOLICITADO POR		
Localización	Imbaya Ibarra		ENSAYADOR POR		
Muestra No	2		CALCULADO POR		
Profundidad			APROBADO POR		
Descripción	Mina Tahuando		FECHA		
NORMA			AASHTO T 27-06		
GRANULOMETRIA DE AGREGADOS					
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
Serie Gruesa					
3"	76,2				
2 ½ "	64				
2"	50,8				
1 ½ "	38,1				
1 "	25,4				
¾ "	19	0,00	0,00	0,0	100,0
1/2 "	12,7	172,10	172,10	16,4	83,6
3/8 "	9,51	129,20	301,30	28,7	71,3
N°4	4,76	184,60	485,90	46,3	53,7
N°8	2,362	87,50	573,40	54,6	45,4
N°16	1,19	91,40	664,80	63,3	36,7
N°30	0,595	104,30	769,10	73,2	26,8
N°50	0,297	101,60	870,70	82,9	17,1
N°100	0,149	63,60	934,30	89,0	11,0
N°200	0,074	41,40	975,70	92,9	7,1
Masa Total		975,70			
			Peso Inicial Seco		1050,0



### 3.3.1.2.RICE

A continuación, se exponen las hojas de resumen de las tres muestras ensayadas en laboratorio:

*Tabla 3.7: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Tahuando (Muestra No.01)*

ÁREA DE PAVIMENTOS																																									
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE																																									
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08			<b>ORDEN:</b>		<b>HOJA:</b> 1 de 3																																				
<b>CLIENTE:</b>	PANAVIAL		<b>SOLICITA:</b>																																						
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía Otavalo - Ibarra		<b>FISCALIZA:</b>																																						
<b>UBICACIÓN:</b>	Ciudadela Imbaya		<b>CONSTRUYE:</b>	PANAVIAL																																					
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b>	Ibarra	<b>EMISIÓN:</b>																																					
<b>ID MUESTRA:</b>																																									
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																																						
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																																									
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>		<b>POR:</b>																																					
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																																									
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>																																					
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>		Metálico	<b>PROCEDIMIENTO:</b> Determinacion de Masa en Aire																																						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td><b>M</b></td> <td>1</td> <td>Número de muestra</td> </tr> <tr> <td><b>TM</b></td> <td>3</td> <td>Número total de muestras</td> </tr> </table> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td><b>A</b></td> <td>2200,2</td> <td>Masa dela muestra (g)</td> </tr> <tr> <td><b>D</b></td> <td>7413,4</td> <td>Masa del contenedor lleno de agua a <math>25 \pm 0.5</math> °C (g)</td> </tr> <tr> <td><b>E</b></td> <td>8727,7</td> <td>Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a <math>25 \pm 1</math> °C (g)</td> </tr> <tr> <td><b>PS</b></td> <td>NO</td> <td>Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?</td> </tr> </table>						<b>M</b>	1	Número de muestra	<b>TM</b>	3	Número total de muestras	<b>A</b>	2200,2	Masa dela muestra (g)	<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C (g)	<b>E</b>	8727,7	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C (g)	<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																		
<b>M</b>	1	Número de muestra																																							
<b>TM</b>	3	Número total de muestras																																							
<b>A</b>	2200,2	Masa dela muestra (g)																																							
<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C (g)																																							
<b>E</b>	8727,7	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C (g)																																							
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																																							
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO</b> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td><b>B</b></td> <td></td> <td>Masa de la bandeja (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mi</b></td> <td></td> <td>Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)</td> </tr> <tr> <td><b>CICLO</b></td> <td><b>Masa (g)</b></td> <td><b>Δ (%)</b></td> </tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td><b>A'</b></td> <td></td> <td>Masa de la muestra con superficie seca (g)</td> </tr> </table>						<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)	<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)	<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>	1			2			3			4			5			6			7			8			<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)
<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)																																							
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)																																							
<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>																																							
1																																									
2																																									
3																																									
4																																									
5																																									
6																																									
7																																									
8																																									
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)																																							
		<b>Gmm</b>	2,484	Gravedad Específica Máxima Teórica																																					

Tabla 3.8: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE Mina Tahuando (Muestra No.02)

ÁREA DE PAVIMENTOS																																								
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE																																								
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>		<b>HOJA:</b> 2 de 3																																				
<b>CLIENTE:</b>	PANAVIAL		<b>SOLICITA:</b>																																					
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía Otavalo - Ibarra		<b>FISCALIZA:</b>																																					
<b>UBICACIÓN:</b>	Ciudadela Imbaya		<b>CONSTRUYE:</b>	PANAVIAL																																				
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b>	Ibarra	<b>EMISIÓN:</b>																																				
<b>ID MUESTRA:</b>																																								
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																																					
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																																								
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>		<b>POR:</b>																																				
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																																								
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>																																				
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>		Metálico	<b>PROCEDIMIENTO:</b> Determinacion de Masa en Aire																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>M</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2</td> <td>Número de muestra</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>TM</b></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Número total de muestras</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>A</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2198,3</td> <td>Masa dela muestra (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>D</b></td> <td style="text-align: center;">7413,4</td> <td>Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>E</b></td> <td style="text-align: center;">8721,7</td> <td>Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>PS</b></td> <td style="text-align: center;">NO</td> <td>Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?</td> </tr> </table>					<b>M</b>	2	Número de muestra	<b>TM</b>	3	Número total de muestras	<b>A</b>	2198,3	Masa dela muestra (g)	<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)	<b>E</b>	8721,7	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)	<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																		
<b>M</b>	2	Número de muestra																																						
<b>TM</b>	3	Número total de muestras																																						
<b>A</b>	2198,3	Masa dela muestra (g)																																						
<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)																																						
<b>E</b>	8721,7	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)																																						
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																																						
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>B</b></td> <td style="width: 10%;"></td> <td>Masa de la bandeja (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td></td> <td>Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>CICLO</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Masa (g)</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Δ (%)</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">A'</td> <td></td> <td>Masa de la muestra con superficie seca (g)</td> </tr> </table>					<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)	<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)	<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>	1			2			3			4			5			6			7			8			A'		Masa de la muestra con superficie seca (g)
<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)																																						
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)																																						
<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>																																						
1																																								
2																																								
3																																								
4																																								
5																																								
6																																								
7																																								
8																																								
A'		Masa de la muestra con superficie seca (g)																																						
		<b>Gmm</b>	2,470	Gravedad Específica Máxima Teórica																																				

Tabla 3.9: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE Mina Tahuando (Muestra No.03)

ÁREA DE PAVIMENTOS																																							
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE																																							
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 3 de 3																																				
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>																																				
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía Otavalo - Ibarra		<b>FISCALIZA:</b>																																				
<b>UBICACIÓN:</b>	Ciudadela Imbaya		<b>CONSTRUYE:</b>																																				
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b>	Ibarra																																				
<b>EMISIÓN:</b>																																							
<b>ID MUESTRA:</b>																																							
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																																				
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																																							
<b>MÉTODO:</b>	<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>																																					
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																																							
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>																																					
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b> Metálico																																							
<b>PROCEDIMIENTO:</b> Determinacion de Masa en Aire																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>M</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">3</td> <td>Número de muestra</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>TM</b></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Número total de muestras</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>A</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2115,1</td> <td>Masa dela muestra (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>D</b></td> <td style="text-align: center;">7413,4</td> <td>Masa del contenedor lleno de agua a <math>25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}</math> (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>E</b></td> <td style="text-align: center;">8661,5</td> <td>Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a <math>25 \pm 1^{\circ}\text{C}</math> (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>PS</b></td> <td style="text-align: center;">NO</td> <td>Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?</td> </tr> </table>				<b>M</b>	3	Número de muestra	<b>TM</b>	3	Número total de muestras	<b>A</b>	2115,1	Masa dela muestra (g)	<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (g)	<b>E</b>	8661,5	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ (g)	<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																		
<b>M</b>	3	Número de muestra																																					
<b>TM</b>	3	Número total de muestras																																					
<b>A</b>	2115,1	Masa dela muestra (g)																																					
<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (g)																																					
<b>E</b>	8661,5	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ (g)																																					
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																																					
<p><b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>B</b></td> <td style="width: 10%;"></td> <td>Masa de la bandeja (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td></td> <td>Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>CICLO</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Masa (g)</b></td> <td style="text-align: center;"><b><math>\Delta</math> (%)</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>A'</b></td> <td></td> <td>Masa de la muestra con superficie seca (g)</td> </tr> </table>				<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)	<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)	<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>	1			2			3			4			5			6			7			8			<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)
<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)																																					
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)																																					
<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>																																					
1																																							
2																																							
3																																							
4																																							
5																																							
6																																							
7																																							
8																																							
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)																																					
<b>Gmm</b>		2,440	Gravedad Específica Máxima Teórica																																				

Con la información de las hojas de Informe presentadas anteriormente se concluye que para las muestras ensayadas el Gmm es:

*Tabla 3.10: Tabla Resumen de los Resultados de la Gravedad Específica Máxima Teórica RICE*

<u>Muestra</u>	<u>Gmm</u>
I1	2,484
I2	2,470
I3	2,440
<b>Promedio</b>	<b>2,465</b>

### *3.3.1.3. Contenido de Asfalto mediante el Uso del Horno de Ignición*

A continuación, se exponen las dos hojas del ensayo del horno de ignición.

En el Anexo 3 se adjunta la hoja de resultados que arroja el horno de ignición para las dos muestras.

Tabla 3.11: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Tahuando (Muestra No. 01)

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN																												
<b>NORMA:</b> AASHTO T 308-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 2																									
<b>CLIENTE:</b>	PANAVIAL		<b>SOLICITA:</b>																									
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía Otavalo - Ibarra		<b>FISCALIZA:</b>																									
<b>UBICACIÓN:</b>	Ciudadela Imbaya		<b>CONSTRUYE:</b>	PANAVIAL																								
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b>	Ibarra	<b>EMISIÓN:</b>																								
<b>ID MUESTRA:</b>																												
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																									
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																												
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>																									
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																												
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>																									
<b>MÉTODO DE ENSAYO:</b>		A	<b>TIPO DE HORNO:</b> IRRADIACIÓN IR																									
<b>¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?</b>			NO	<b>MASA CTE.</b> SI																								
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>			<i>Si fue determinado por AASHTO T 329</i>																									
<b>¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?</b>			NO	CF																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%;">3395,02</td> <td>Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mti</b></td> <td>4495,89</td> <td>Masa total inicial (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mi</b></td> <td>1100,87</td> <td>Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mth</b></td> <td>4496,9</td> <td>Masa total (balanza horno), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>ΔM</b></td> <td>1,01</td> <td>Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Mtf</b></td> <td>4420,65</td> <td>Masa total final (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mf</b></td> <td>1025,63</td> <td>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Pb</b></td> <td>6,1</td> <td>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</td> </tr> </tbody> </table>					<b>Mb</b>	3395,02	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)	<b>Mti</b>	4495,89	Masa total inicial (balanza externa), (g)	<b>Mi</b>	1100,87	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)	<b>Mth</b>	4496,9	Masa total (balanza horno), (g)	<b>ΔM</b>	1,01	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	4420,65	Masa total final (balanza externa) (g)	<b>Mf</b>	1025,63	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)	<b>Pb</b>	6,1	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)
<b>Mb</b>	3395,02	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)																										
<b>Mti</b>	4495,89	Masa total inicial (balanza externa), (g)																										
<b>Mi</b>	1100,87	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)																										
<b>Mth</b>	4496,9	Masa total (balanza horno), (g)																										
<b>ΔM</b>	1,01	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)																										
<b>Mtf</b>	4420,65	Masa total final (balanza externa) (g)																										
<b>Mf</b>	1025,63	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)																										
<b>Pb</b>	6,1	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)																										
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>			NO (Aplica en Método A)																									
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)																										
<b>T</b>		Temperatura del ensayo (°C)																										

**OBSERVACIONES:**  
 Se trabaja con mezcla asfáltica disgregada, la cual fue compactada y sirvió de testigo para el ensayo del Módulo Dinámico

Tabla 3.12: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Tahuando (Muestra No. 02)

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN																												
<b>NORMA:</b> AASHTO T 308-08		<b>ORDEN:</b>		<b>HOJA:</b> 2 de 2																								
<b>CLIENTE:</b>	PANAVIAL		<b>SOLICITA:</b>																									
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía Otavalo - Ibarra		<b>FISCALIZA:</b>																									
<b>UBICACIÓN:</b>	Ciudadela Imbaya		<b>CONSTRUYE:</b>	PANAVIAL																								
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b>	Ibarra	<b>EMISIÓN:</b>																								
<b>ID MUESTRA:</b>																												
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																									
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																												
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>		<b>POR:</b>																								
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																												
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>																								
<b>MÉTODO DE ENSAYO:</b>		A	<b>TIPO DE HORNO:</b> IRRADIACIÓN IR																									
<b>¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?</b>			NO	<b>MASA CTE.</b> SI																								
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>			<i>Si fue determinado por AASHTO T 329</i>																									
<b>¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?</b>			NO	CF																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%;">3381,18</td> <td>Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mti</b></td> <td>4502,98</td> <td>Masa total inicial (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mi</b></td> <td>1121,8</td> <td>Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mth</b></td> <td>4504,4</td> <td>Masa total (balanza horno), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>ΔM</b></td> <td>1,42</td> <td>Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Mtf</b></td> <td>4433,87</td> <td>Masa total final (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mf</b></td> <td>1025,69</td> <td>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Pb</b></td> <td>6,13</td> <td>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</td> </tr> </tbody> </table>					<b>Mb</b>	3381,18	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)	<b>Mti</b>	4502,98	Masa total inicial (balanza externa), (g)	<b>Mi</b>	1121,8	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)	<b>Mth</b>	4504,4	Masa total (balanza horno), (g)	<b>ΔM</b>	1,42	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	4433,87	Masa total final (balanza externa) (g)	<b>Mf</b>	1025,69	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)	<b>Pb</b>	6,13	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)
<b>Mb</b>	3381,18	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)																										
<b>Mti</b>	4502,98	Masa total inicial (balanza externa), (g)																										
<b>Mi</b>	1121,8	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)																										
<b>Mth</b>	4504,4	Masa total (balanza horno), (g)																										
<b>ΔM</b>	1,42	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)																										
<b>Mtf</b>	4433,87	Masa total final (balanza externa) (g)																										
<b>Mf</b>	1025,69	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)																										
<b>Pb</b>	6,13	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)																										
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>			NO	(Aplica en Método A)																								
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)																										
<b>T</b>		Temperatura del ensayo (°C)																										
<b>OBSERVACIONES:</b> Se trabaja con mezcla asfáltica disgregada, la cual fue compactada y sirvió de testigo para el ensayo del Módulo Dinámico																												

Con los datos obtenidos en las hojas de ensayo tenemos el resumen del contenido de asfalto en la Tabla 3.13.

*Tabla 3.13: Tabla de Resumen del Contenido de Asfalto*

<u>Muestra</u>	<u>Porcentaje de Asfalto</u>
1	6,1
2	6,13
<b>Promedio</b>	<b>6,12</b>

#### *3.3.1.4.Gravedad Específica Bulk*

A continuación, se exponen los resultados de las mediciones de las probetas obtenidas, incluyendo las tres porciones de cada una de las cuales se obtuvieron los resultados parciales, de igual manera se encuentran los resultados de gravedad específica Bulk, densidad y porcentaje de agua absorbida.



Tabla 3.14: Dimensiones de los Núcleos Extraídos de las Muestras de la Mina Tahuando

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DIMENSIONES DE NÚCLEOS</b>						
NOMBRE I						
Identificación del Especímen	LECTURAS					PROMEDIO
	E/D	1	2	3	4	
I1	ESPESOR	126,11	126,16	126,09	126	126,09
	DIAMETRO	100,98	101	101	100,7	100,92
I2	ESPESOR	126,23	126,16	126,54	126,17	126,28
	DIAMETRO	100,95	101	100,97	100,15	100,77
I3	ESPESOR	126,27	126,43	126,37	126,48	126,39
	DIAMETRO	100,62	101,02	101,08	100,91	100,91
I4	ESPESOR	127,7	127,84	128,04	127,92	127,88
	DIAMETRO	100,97	100,9	100,77	100,85	100,87
I5	ESPESOR	127,94	128,12	128,16	127,85	128,02
	DIAMETRO	100,99	100,95	101,26	100,87	101,02
I6	ESPESOR	125,27	125,09	125,11	125,16	125,16
	DIAMETRO	100,93	100,93	101	101,01	100,97
I7	ESPESOR	127,74	127,85	128,16	128,12	127,97
	DIAMETRO	101	100,91	100,98	101,17	101,02
I8	ESPESOR	126,41	126,4	126,38	126,44	126,41
	DIAMETRO	100,97	100,9	100,93	100,91	100,93
I9	ESPESOR	125,16	125,16	125,31	125,17	125,20
	DIAMETRO	100,85	100,97	100,93	101,06	100,95
I10	ESPESOR	125,97	126,03	125,87	126,31	126,05
	DIAMETRO	101,03	101	100,99	101,11	101,03

Tabla 3.15: Dimensiones de los Núcleos Parciales de las Muestras de la Mina Tahuando

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DIMENSIONES DE NÚCLEOS</b>						
NOMBRE		I PARCIALES				
Identificación del Especimen	LECTURAS					PROMEDIO
	E/D	1	2	3	4	
I1-S	ESPESOR	40,21	41,98	40,62	40,57	40,85
	DIAMETRO	101,46	102	101,62	101,37	101,61
I1-M	ESPESOR	36,94	35,53	35,04	35,15	35,67
	DIAMETRO	101,28	101,39	101,65	101,09	101,35
I1-I	ESPESOR	41,65	42,38	41,04	40,68	41,44
	DIAMETRO	101,28	101,29	101,34	101,28	101,30
I2-S	ESPESOR	38,46	38,65	38,42	38,82	38,59
	DIAMETRO	101,43	101,61	101,38	100,97	101,35
I2-M	ESPESOR	36,83	37,32	36,77	36,79	36,93
	DIAMETRO	101,31	100,65	101,1	99,92	100,75
I2-I	ESPESOR	43,04	42,87	42,58	42,85	42,84
	DIAMETRO	101,25	100,62	101,4	101,3	101,14
I4-S	ESPESOR	38,4	38,73	38,37	38,52	38,51
	DIAMETRO	101,32	101,55	101,27	102,24	101,60
I4-M	ESPESOR	38,81	37,97	37,94	38,23	38,24
	DIAMETRO	101,26	101,24	101,36	101,98	101,46
I4-I	ESPESOR	42,85	42,33	42,36	42,68	42,56
	DIAMETRO	101,52	101,24	101,63	101,71	101,53
I5-S	ESPESOR	38,92	37,97	39,1	39,19	38,80
	DIAMETRO	100,73	101,73	101,55	100,82	101,21
I5-M	ESPESOR	38,8	39,63	38,63	38,53	38,90
	DIAMETRO	101,07	100,88	100,88	101,21	101,01
I5-I	ESPESOR	42,46	42,16	42,02	40,55	41,80
	DIAMETRO	101,18	100,95	101,43	101,02	101,15
I6-S	ESPESOR	41,79	41,78	41,18	42,07	41,71
	DIAMETRO	101,46	101,95	101,47	101,4	101,57
I6-M	ESPESOR	38,39	38,77	37,12	37,06	37,84
	DIAMETRO	101,45	101,47	100,98	101,45	101,34
I6-I	ESPESOR	37,99	37,38	37,32	37,65	37,59
	DIAMETRO	101,11	101,89	101,08	101,33	101,35
I7-S	ESPESOR	40,35	40,34	39,97	40,36	40,26
	DIAMETRO	101,39	101,29	101,24	101,27	101,30
I7-M	ESPESOR	37,7	38,1	37,2	37,77	37,69
	DIAMETRO	101,47	102,11	100,97	101,28	101,46
I7-I	ESPESOR	41,63	41,69	41,74	41,83	41,72
	DIAMETRO	101,3	101,57	101,67	101,3	101,46
I8-S	ESPESOR	37,08	36,75	36,65	37,08	36,89
	DIAMETRO	101,45	101,2	100,64	101,18	101,12
I8-M	ESPESOR	39,79	38,56	38,32	39,15	38,96
	DIAMETRO	101,13	101,45	101,45	101,32	101,34
I8-I	ESPESOR	40,94	41,88	41,13	41,02	41,24
	DIAMETRO	101,68	101,45	101,58	101,67	101,60
I9-S	ESPESOR	38,05	39,02	38,58	38,13	38,45
	DIAMETRO	101,42	101,6	101,87	101,37	101,57
I9-M	ESPESOR	38,35	37,52	36,53	36,48	37,22
	DIAMETRO	101,55	101,62	101,45	101,49	101,53
I9-I	ESPESOR	40,45	41,35	40,47	40,95	40,81
	DIAMETRO	101,62	101,3	101,22	101,6	101,44
I10-S	ESPESOR	37,18	37,7	37,74	37,14	37,44
	DIAMETRO	101,48	101,7	101,08	101,02	101,32
I10-M	ESPESOR	38,74	37,76	37,62	37,74	37,97
	DIAMETRO	102,05	100,99	101,76	101,58	101,60
I10-I	ESPESOR	37,28	37,7	37,86	37,05	37,47
	DIAMETRO	101,48	101,35	101,38	101,25	101,37

Tabla 3.16: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Enteros de la Mina Tahuando

<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS(HMA)</b> <b>USANDO ESPECÍMENES SSS</b>								
Briqueta	Espesor del espécimen (mm)	Diámetro del especimén (mm)	Masa Seca (gr) A	Masa Sumergida (gr) C	Masa SSS (gr) B	Gravedad Bulk	Densidad	% de Agua absorbida
I1	126,09	100,92	2343,18	1353,47	2349,15	2,356	2349	0,30
I2	126,28	100,77	2447,75	1355,32	2350,9	2,358	2351	0,32
I3	126,39	100,91	2345,29	1355,86	2347,88	2,364	2357	0,26
I4	127,88	100,87	2373,12	1366,73	2377,96	2,347	2340	0,48
I5	128,02	101,02	2385,42	1374,93	2388,3	2,354	2347	0,28
I6	125,16	100,97	2338,38	1347,02	2339,41	2,356	2349	0,10
I7	127,97	101,02	2380,26	1370,95	2383,85	2,35	2343	0,35
I8	126,21	100,93	2354,53	1358,81	2356,04	2,361	2354	0,15
I9	125,2	100,95	2344,85	1353,43	2345,52	2,364	2356	0,07
I10	126,05	101,03	2346,91	1350,33	2347,85	2,353	2346	0,09

Tabla 3.17: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Parciales de la Mina Tahuando

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS(HMA) USANDO ESPECÍMENES SSS								
Briqueta	Espesor del espécimen (mm)	Diámetro del espécimen (mm)	Masa Seca (gr) A	Masa Sumergida (gr) C	Masa SSS (gr) B	Gravedad Bulk	Densidad	% de Agua absorbida
I1-S	40,85	101,61	739,94	423,09	740,48	2,331	2324	0,17
I1-M	35,67	101,35	673,2	329,27	673,86	1,954	1948	0,19
I1-I	41,44	101,3	733,88	422,66	736,29	2,34	2333	0,77
I2-S	38,59	101,35	708,45	405,41	709,05	2,333	2326	0,20
I2-M	36,93	100,75	705,47	412,15	706,03	2,401	2393	0,19
I2-I	42,84	101,14	762,89	438,89	765,75	2,334	2327	0,87
I4-S	38,51	100,48	778,31	444,29	778,95	2,326	2319	0,19
I4-M	38,24	100,19	718,08	418,44	718,95	2,39	2382	0,29
I4-I	42,56	100,48	689,75	392,38	691,68	2,305	2298	0,64
I5-S	38,80	101,21	713,09	407,44	713,90	2,327	2320	0,26
I5-M	38,9	101,01	730,32	425,13	731,45	2,384	2377	0,37
I5-I	41,8	101,15	766,68	440,36	768,12	2,339	2332	0,44
I6-S	41,71	101,57	760,68	435,34	761,29	2,334	2327	0,19
I6-M	37,84	101,34	709,49	414,04	709,97	2,397	2390	0,16
I6-I	37,59	101,35	682,96	390,12	683,33	2,329	2322	0,13
I7-S	40,26	101,3	736,85	419,9	737,40	2,321	2314	0,17
I7-M	37,69	101,46	711,43	414,83	712,21	2,393	2385	0,26
I7-I	41,72	101,46	756,74	432,1	758,65	2,317	2310	0,58
I8-S	36,89	101,05	670,31	383,23	671,00	2,329	2322	0,24
I8-M	38,96	101,34	737,52	431,37	737,91	2,406	2399	0,13
I8-I	41,24	101,6	749,68	430,19	750,66	2,339	2332	0,31
I9-S	38,45	101,57	695,86	396,43	696,53	2,319	2312	0,22
I9-M	37,22	101,53	709,09	414,61	709,56	2,404	2397	0,16
I9-I	40,81	101,44	754,01	434,26	754,83	2,352	2345	0,26
I10-S	37,44	101,32	680,13	388,67	680,72	2,329	2322	0,20
I10-M	37,97	101,6	714,96	416,2	715,39	2,39	2382	0,14
I10-I	37,47	101,37	765,29	436,51	765,87	2,324	2317	0,18

Donde la identificación de cada porción de cada espécimen se designa de la siguiente manera:

- ♦ S: superior
- ♦ M: medio
- ♦ I: inferior.

En la Tabla 3.18. se tiene el resumen de los valores obtenidos del ensayo de gravedad específica Bulk de los especímenes ensayados.

*Tabla 3.18: Tabla Resumen de los Resultados del Ensayo de Gravedad Específica Bulk*

<u>Muestra</u>	<u>Gmm</u>
I1	2,356
I2	2,358
I3	2,364
I4	2,347
I5	2,354
I6	2,356
I7	2,35
I8	2,361
I9	2,364
I10	2,353
<b>Promedio</b>	<b>2,356</b>

### **3.3.2. MEZCLA 2 (CARIYACU – COTACACHI)**

#### *3.3.2.1. Granulometría*

Se tomaron 2 muestras de mezcla asfáltica para realizar el ensayo de porcentaje de pérdida de bitumen mediante el horno de ignición ya que el material restante del mismo nos sirve para realizar la granulometría.

Ulteriormente se presenta la gráfica granulométrica en escala semi-logarítmica con los límites especificados dados por la Norma MOP 001 – F – 2002.

Figura 3.2: Gráfica Granulométrica en Escala Semi-Logarítmica (Cariyacu-Cotacachi)

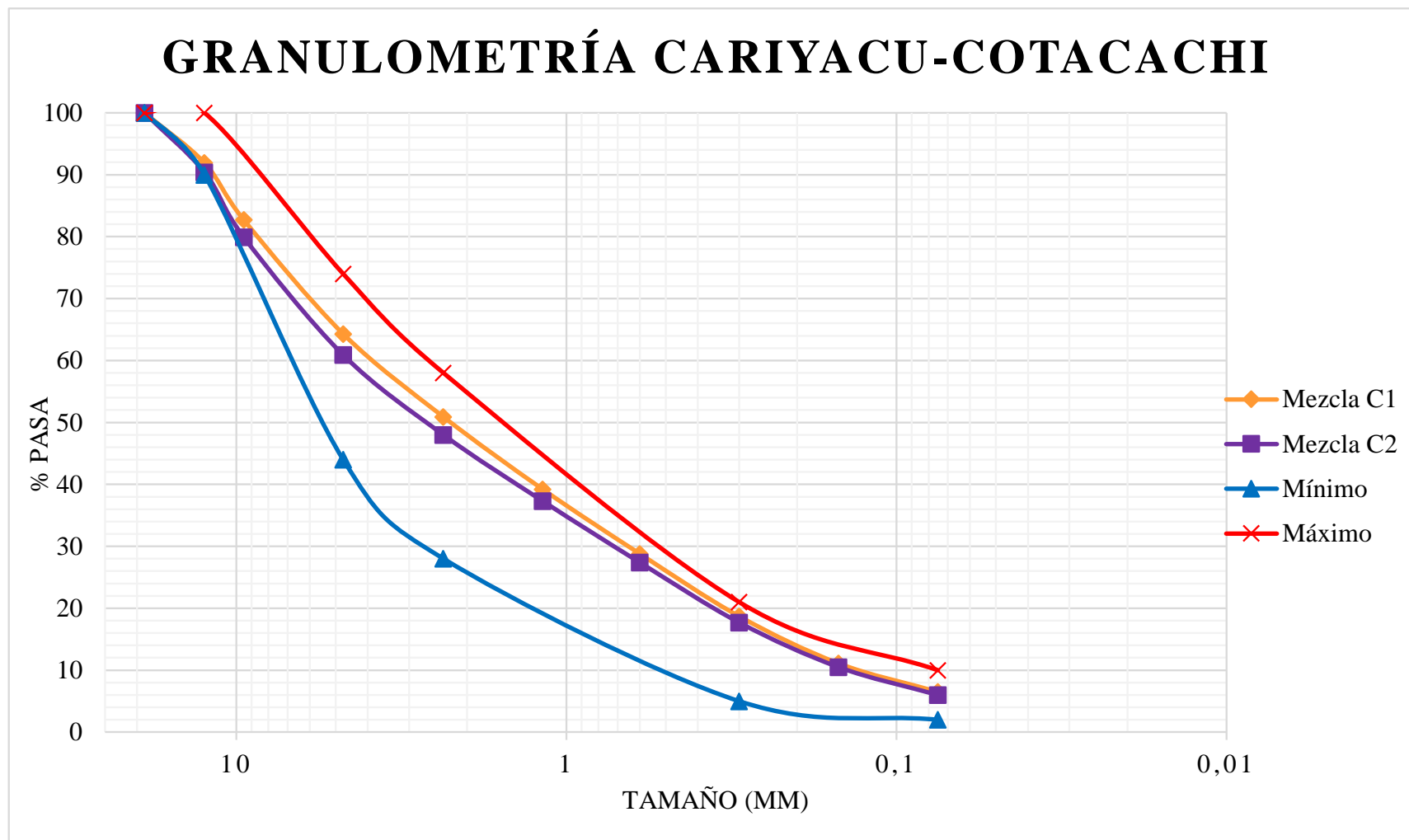




Tabla 3.19: Granulometría de Agregados de la Mina Cariyacu (Muestra No.01)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					
Obra			SOLICITADO POR		
Localización	Imantag-Cotacachi		ENSAYADOR POR		
Muestra No	1		CALCULADO POR		
Profundidad			APROBADO POR		
Descripción	Mina Cariyacu		FECHA		
NORMA			AASHTO T 27-06		
GRANULOMETRIA DE AGREGADOS					
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
Serie Gruesa					
3"	76,2				
2 ½ "	64				
2"	50,8				
1 ½ "	38,1				
1 "	25,4				
3/4 "	19				
1/2 "	12,7	81,90	81,90	16,4	83,6
3/8 "	9,51	94,10	176,00	28,7	71,3
N°4	4,76	185,90	361,90	46,3	53,7
N°8	2,362	136,40	498,30	54,6	45,4
N°16	1,19	118,90	617,20	63,3	36,7
N°30	0,595	105,40	722,60	73,2	26,8
N°50	0,297	102,40	825,00	82,9	17,1
N°100	0,149	76,80	901,80	89,0	11,0
N°200	0,074	47,30	949,10	92,9	7,1
Masa Total		949,10			
			Peso Inicial Seco		1014,68

Tabla 3.20: Granulometría de Agregados de la Mina Cariyacu (Muestra No.02)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					
Obra			SOLICITADO POR		
Localización	Imantag-Cotacachi		ENSAYADOR POR		
Muestra No	2		CALCULADO POR		
Profundidad			APROBADO POR		
Descripción	Mina Cariyacu		FECHA		
NORMA			AASHTO T 27-06		
GRANULOMETRIA DE AGREGADOS					
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
Serie Gruesa					
3"	76,2				
2 ½ "	64				
2"	50,8				
1 ½ "	38,1				
1 "	25,4				
3/4 "	19				
1/2 "	12,7	97,90	97,90	9,6	90,4
3/8 "	9,51	107,90	205,80	20,1	79,9
N°4	4,76	193,70	399,50	39,1	60,9
N°8	2,362	132,00	531,50	52,0	48,0
N°16	1,19	109,90	641,40	62,7	37,3
N°30	0,595	100,60	742,00	72,6	27,4
N°50	0,297	99,30	841,30	82,3	17,7
N°100	0,149	73,80	915,10	89,5	10,5
N°200	0,074	46,40	961,50	94,0	6,0
Masa Total		961,50			
			Peso Inicial Seco		1022,45

### 3.3.2.2.RICE

A continuación, se exponen las hojas de resumen de las tres muestras ensayadas en laboratorio:

*Tabla 3.21: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Cariyacu (Muestra No.01)*

ÁREA DE PAVIMENTOS																																							
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE																																							
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 3																																				
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>																																				
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía San Gabriel-Tulcán		<b>FISCALIZA:</b>																																				
<b>UBICACIÓN:</b>	Parroquia de Imantag		<b>CONSTRUYE:</b>																																				
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b> Cotacachi	<b>EMISIÓN:</b>																																				
<b>ID MUESTRA:</b>																																							
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																																				
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																																							
<b>MÉTODO:</b>	<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>																																					
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																																							
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>																																					
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b> Metálico																																							
<b>PROCEDIMIENTO:</b> Determinacion de Masa en Aire																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>M</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">1</td> <td>Número de muestra</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>TM</b></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Número total de muestras</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>A</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2200,4</td> <td>Masa dela muestra (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>D</b></td> <td style="text-align: center;">7413,4</td> <td>Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>E</b></td> <td style="text-align: center;">8697,2</td> <td>Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>PS</b></td> <td style="text-align: center;">NO</td> <td>Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?</td> </tr> </table>				<b>M</b>	1	Número de muestra	<b>TM</b>	3	Número total de muestras	<b>A</b>	2200,4	Masa dela muestra (g)	<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)	<b>E</b>	8697,2	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)	<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																		
<b>M</b>	1	Número de muestra																																					
<b>TM</b>	3	Número total de muestras																																					
<b>A</b>	2200,4	Masa dela muestra (g)																																					
<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)																																					
<b>E</b>	8697,2	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)																																					
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																																					
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>B</b></td> <td style="width: 10%;"></td> <td>Masa de la bandeja (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td></td> <td>Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>CICLO</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Masa (g)</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Δ (%)</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">A'</td> <td></td> <td>Masa de la muestra con superficie seca (g)</td> </tr> </table>				<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)	<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)	<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>	1			2			3			4			5			6			7			8			A'		Masa de la muestra con superficie seca (g)
<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)																																					
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)																																					
<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>																																					
1																																							
2																																							
3																																							
4																																							
5																																							
6																																							
7																																							
8																																							
A'		Masa de la muestra con superficie seca (g)																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>Gmm</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2,441</td> <td>Gravedad Específica Máxima Teórica</td> </tr> </table>				<b>Gmm</b>	2,441	Gravedad Específica Máxima Teórica																																	
<b>Gmm</b>	2,441	Gravedad Específica Máxima Teórica																																					

Tabla 3.22: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Cariyacu (Muestra No.02)

ÁREA DE PAVIMENTOS																																								
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE																																								
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>		<b>HOJA:</b> 2 de 3																																				
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>																																					
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía San Gabriel-Tulcán		<b>FISCALIZA:</b>																																					
<b>UBICACIÓN:</b>	Parroquia de Imantag		<b>CONSTRUYE:</b>																																					
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b>	Cotacachi	<b>EMISIÓN:</b>																																				
<b>ID MUESTRA:</b>																																								
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																																					
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																																								
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>		<b>POR:</b>																																				
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																																								
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>																																				
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b> Metálico																																								
<b>PROCEDIMIENTO:</b> Determinacion de Masa en Aire																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>M</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2</td> <td>Número de muestra</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>TM</b></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Número total de muestras</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>A</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2193,1</td> <td>Masa dela muestra (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>D</b></td> <td style="text-align: center;">7413,4</td> <td>Masa del contenedor lleno de agua a <math>25 \pm 0.5</math> °C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>E</b></td> <td style="text-align: center;">8694,3</td> <td>Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a <math>25 \pm 1</math> °C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>PS</b></td> <td style="text-align: center;">NO</td> <td>Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?</td> </tr> </tbody> </table>					<b>M</b>	2	Número de muestra	<b>TM</b>	3	Número total de muestras	<b>A</b>	2193,1	Masa dela muestra (g)	<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C (g)	<b>E</b>	8694,3	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C (g)	<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																		
<b>M</b>	2	Número de muestra																																						
<b>TM</b>	3	Número total de muestras																																						
<b>A</b>	2193,1	Masa dela muestra (g)																																						
<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C (g)																																						
<b>E</b>	8694,3	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C (g)																																						
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																																						
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>B</b></td> <td style="width: 10%;"></td> <td>Masa de la bandeja (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td></td> <td>Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>CICLO</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Masa (g)</b></td> <td style="text-align: center;"><b><math>\Delta</math> (%)</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>A'</b></td> <td></td> <td>Masa de la muestra con superficie seca (g)</td> </tr> </tbody> </table>					<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)	<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)	<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>	1			2			3			4			5			6			7			8			<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)
<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)																																						
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)																																						
<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>																																						
1																																								
2																																								
3																																								
4																																								
5																																								
6																																								
7																																								
8																																								
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)																																						
<b>Gmm</b>		2,404	Gravedad Específica Máxima Teórica																																					

Tabla 3.23: Gravedad Específica Máxima Teórica y Densidad de Mezclas Asfálticas en Caliente RICE de la Mina Cariyacu (Muestra No.03)

ÁREA DE PAVIMENTOS																																								
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE																																								
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>		<b>HOJA:</b> 3 de 3																																				
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>																																					
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía San Gabriel-Tulcán		<b>FISCALIZA:</b>																																					
<b>UBICACIÓN:</b>	Parroquia de Imantag		<b>CONSTRUYE:</b>																																					
<b>PROVINCIA:</b>	IMBABURA	<b>CANTÓN:</b>	Cotacachi	<b>EMISIÓN:</b>																																				
<b>ID MUESTRA:</b>																																								
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>																																					
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																																								
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>		<b>POR:</b>																																				
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																																								
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>																																				
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>		Metálico	<b>PROCEDIMIENTO:</b> Determinacion de Masa en Aire																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;"><b>M</b></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">3</td> <td>Número de muestra</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>TM</b></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Número total de muestras</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;"><b>A</b></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">2195,2</td> <td>Masa dela muestra (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>D</b></td> <td style="text-align: center;">7413,4</td> <td>Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>E</b></td> <td style="text-align: center;">8699,2</td> <td>Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>PS</b></td> <td style="text-align: center;">NO</td> <td>Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?</td> </tr> </tbody> </table>					<b>M</b>	3	Número de muestra	<b>TM</b>	3	Número total de muestras	<b>A</b>	2195,2	Masa dela muestra (g)	<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)	<b>E</b>	8699,2	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)	<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																		
<b>M</b>	3	Número de muestra																																						
<b>TM</b>	3	Número total de muestras																																						
<b>A</b>	2195,2	Masa dela muestra (g)																																						
<b>D</b>	7413,4	Masa del contenedor lleno de agua a 25 ± 0.5 °C (g)																																						
<b>E</b>	8699,2	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a 25 ± 1°C (g)																																						
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																																						
<p><b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;"><b>B</b></td> <td style="width: 15%;"></td> <td>Masa de la bandeja (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td></td> <td>Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>CICLO</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Masa (g)</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Δ (%)</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>A'</b></td> <td></td> <td>Masa de la muestra con superficie seca (g)</td> </tr> </tbody> </table>					<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)	<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)	<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>	1			2			3			4			5			6			7			8			<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)
<b>B</b>		Masa de la bandeja (g)																																						
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda (g)																																						
<b>CICLO</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Δ (%)</b>																																						
1																																								
2																																								
3																																								
4																																								
5																																								
6																																								
7																																								
8																																								
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca (g)																																						
		<b>Gmm</b>	2,414	Gravedad Específica Máxima Teórica																																				

Con la información de las hojas de Informe presentadas anteriormente se concluye que para las muestras ensayadas el Gmm es:

*Tabla 3.24: Tabla Resumen de los Resultados de la Gravedad Específica Máxima Teórica RICE*

<u>Muestra</u>	<u>Gmm</u>
C1	2,441
C2	2,404
C3	2,414
<b>Promedio</b>	<b>2,420</b>

Con el valor promedio dado por el diseño de Planta Asfáltica DPM, se encuentra que el valor obtenido en el ensayo es bastante cercano a la realidad ya que el resultado solamente difiere en 0.041.

#### *3.3.2.3. Contenido de Asfalto mediante el Uso del Horno de Ignición*

A continuación, se exponen las dos hojas del ensayo del horno de ignición.

En el Anexo 4 se adjunta la hoja de resultados que arroja el horno de ignición para las tres muestras.

Tabla 3.25: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Cariyacu (Muestra No. 01)

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN																											
<b>NORMA:</b> AASHTO T 308-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 2																								
<b>CLIENTE:</b>	DPM INGENIERIA		<b>SOLICITA:</b>																								
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía San Gabriel-Tulcán		<b>FISCALIZA:</b>																								
<b>UBICACIÓN:</b>	Parroquia de Imantag		<b>CONSTRUYE:</b>																								
<b>PROVINCIA:</b> IMBABURA	<b>CANTÓN:</b> Cotacachi	<b>EMISIÓN:</b>																									
<b>ID MUESTRA:</b>																											
<b>MEZCLA:</b>		<b>FECHA ELAB:</b>																									
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																											
<b>MÉTODO:</b>	<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>																									
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																											
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>																									
<b>MÉTODO DE ENSAYO:</b> A		<b>TIPO DE HORNO:</b> IRRADIACIÓN IR																									
<b>¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?</b>		NO	<b>MASA CTE.</b> SI																								
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>		Si fue determinado por AASHTO T 329																									
<b>¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?</b>		NO	CF																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%;">3380,84</td> <td>Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mti</b></td> <td>4483,73</td> <td>Masa total inicial (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mi</b></td> <td>1102,89</td> <td>Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mth</b></td> <td>4486,8</td> <td>Masa total (balanza horno), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>ΔM</b></td> <td>3,07</td> <td>Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Mtf</b></td> <td>4397,08</td> <td>Masa total final (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mf</b></td> <td>1016,24</td> <td>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Pb</b></td> <td>8,05</td> <td>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</td> </tr> </tbody> </table>				<b>Mb</b>	3380,84	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)	<b>Mti</b>	4483,73	Masa total inicial (balanza externa), (g)	<b>Mi</b>	1102,89	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)	<b>Mth</b>	4486,8	Masa total (balanza horno), (g)	<b>ΔM</b>	3,07	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	4397,08	Masa total final (balanza externa) (g)	<b>Mf</b>	1016,24	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)	<b>Pb</b>	8,05	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)
<b>Mb</b>	3380,84	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)																									
<b>Mti</b>	4483,73	Masa total inicial (balanza externa), (g)																									
<b>Mi</b>	1102,89	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)																									
<b>Mth</b>	4486,8	Masa total (balanza horno), (g)																									
<b>ΔM</b>	3,07	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)																									
<b>Mtf</b>	4397,08	Masa total final (balanza externa) (g)																									
<b>Mf</b>	1016,24	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)																									
<b>Pb</b>	8,05	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)																									
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		NO	(Aplica en Método A)																								
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)																									
<b>T</b>		Temperatura del ensayo (°C)																									
<b>OBSERVACIONES:</b> Se trabaja con mezcla asfáltica disgregada, la cual fue compactada y sirvió de testigo para el ensayo del Módulo Dinámico																											

Tabla 3.26: Determinación del Contenido de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente por el Método de Ignición de la Mina Cariyacu (Muestra No. 02)

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN																											
<b>NORMA:</b> AASHTO T 308-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 2 de 2																								
<b>CLIENTE:</b>	DPM INGENIERIA		<b>SOLICITA:</b>																								
<b>PROYECTO:</b>	Mantenimiento de la Vía San Gabriel-Tulcán		<b>FISCALIZA:</b>																								
<b>UBICACIÓN:</b>	Parroquia de Imantag		<b>CONSTRUYE:</b>																								
<b>PROVINCIA:</b> IMBABURA	<b>CANTÓN:</b> Cotacachi	<b>EMISIÓN:</b>																									
<b>ID MUESTRA:</b>																											
<b>MEZCLA:</b>		<b>FECHA ELAB:</b>																									
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																											
<b>MÉTODO:</b>	<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>																									
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>																											
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>																									
<b>MÉTODO DE ENSAYO:</b> A <b>TIPO DE HORNO:</b> IRRADIACIÓN IR																											
<b>¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?</b>		NO	<b>MASA CTE.</b> SI																								
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>		Si fue determinado por AASHTO T 329																									
<b>¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?</b>		NO	CF																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%;">3393,81</td> <td>Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mti</b></td> <td>4506</td> <td>Masa total inicial (balanza externa), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mi</b></td> <td>1112,19</td> <td>Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mth</b></td> <td>4506,4</td> <td>Masa total (balanza horno), (g)</td> </tr> <tr> <td><b>ΔM</b></td> <td>0,4</td> <td>Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Mtf</b></td> <td>4416,26</td> <td>Masa total final (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mf</b></td> <td>1022,45</td> <td>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Pb</b></td> <td>7,76</td> <td>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</td> </tr> </tbody> </table>				<b>Mb</b>	3393,81	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)	<b>Mti</b>	4506	Masa total inicial (balanza externa), (g)	<b>Mi</b>	1112,19	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)	<b>Mth</b>	4506,4	Masa total (balanza horno), (g)	<b>ΔM</b>	0,4	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	4416,26	Masa total final (balanza externa) (g)	<b>Mf</b>	1022,45	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)	<b>Pb</b>	7,76	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)
<b>Mb</b>	3393,81	Masa del conjunto de bandejas (balanza externa), (g)																									
<b>Mti</b>	4506	Masa total inicial (balanza externa), (g)																									
<b>Mi</b>	1112,19	Masa de muestra inicial (Mti - Mb), (g)																									
<b>Mth</b>	4506,4	Masa total (balanza horno), (g)																									
<b>ΔM</b>	0,4	Comprobar si esta dentro de ± 5 g (Aplica en Método A)																									
<b>Mtf</b>	4416,26	Masa total final (balanza externa) (g)																									
<b>Mf</b>	1022,45	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)																									
<b>Pb</b>	7,76	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)																									
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		NO	(Aplica en Método A)																								
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)																									
<b>T</b>		Temperatura del ensayo (°C)																									
<b>OBSERVACIONES:</b> Se trabaja con mezcla asfáltica disgregada, la cual fue compactada y sirvió de testigo para el ensayo del Módulo Dinámico																											



Con los datos obtenidos en las hojas de ensayo tenemos el resumen del contenido de asfalto en la Tabla 3.27.

*Tabla 3.27: Tabla de Resumen del Contenido de Asfalto*

<u>Muestra</u>	<u>Porcentaje de Asfalto</u>
1	8,05
2	7,76
<b>Promedio</b>	<b>7,91</b>

En el diseño de la planta asfáltica, el porcentaje de asfalto óptimo es del 6.4%, comparando con el porcentaje obtenido en el laboratorio de 7.91% se tiene una diferencia de 1.51%, este valor representa el 23.59% de error entre las dos mediciones comparadas.

#### *3.3.2.4.Gravedad Específica Bulk*

A continuación, se exponen los resultados de las mediciones de las probetas obtenidas, incluyendo las tres porciones de cada una de las cuales se obtuvieron los resultados parciales, además de los resultados de gravedad específica Bulk, densidad y porcentaje de agua absorbida.

Tabla 3.28: Dimensiones de los Núcleos Extraídos de las Muestras de la Mina Cariyacu

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DIMENSIONES DE NÚCLEOS</b>						
NOMBRE		C				
Identificación del Especímen	LECTURAS					PROMEDIO
	E/D	1	2	3	4	
C1	ESPESOR	123	123,32	123,28	123,11	123,18
	DIAMETRO	100,96	100,89	100,97	100,99	100,95
C2	ESPESOR	125,67	125,6	125,52	125,61	125,60
	DIAMETRO	101,07	101,13	100,94	101	101,04
C3	ESPESOR	125,65	125,68	125,66	126,26	125,81
	DIAMETRO	100,96	100,96	100,66	101,09	100,92
C4	ESPESOR	125,31	125,37	125,31	125,45	125,36
	DIAMETRO	100,82	101,04	100,94	100,85	100,91
C5	ESPESOR	125,85	125,91	125,95	125,9	125,90
	DIAMETRO	101,12	101,07	100,94	100,9	101,01
C6	ESPESOR	126,72	126,68	126,65	126,75	126,70
	DIAMETRO	100,23	101,08	100,97	100,86	100,79
C7	ESPESOR	126	125,81	126,56	125,83	126,05
	DIAMETRO	100,85	100,9	100,87	100,94	100,89
C8	ESPESOR	183,1	183,36	182,72	183,18	183,09
	DIAMETRO	155,54	157,89	158,01	158,36	157,45
C9	ESPESOR	125,2	125,53	125,36	125,2	125,32
	DIAMETRO	100,65	100,37	100,42	100,46	100,48
C10	ESPESOR	124,54	124,57	124,47	125,21	124,70
	DIAMETRO	100,33	100,37	100,59	100,42	100,43

Tabla 3.29: Dimensiones de los Núcleos Parciales de las Muestras de la Mina Cariyacu

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DIMENSIONES DE NÚCLEOS</b>						
NOMBRE		C PARCIALES				
Identificación del Especímen	LECTURAS					PROMEDIO
	E/D	1	2	3	4	
C1-S	ESPEJOR	39,21	38,99	39,18	39,65	39,26
	DIAMETRO	101,36	100,71	101,45	100,88	101,10
C1-M	ESPEJOR	39,22	38,32	38,64	38,43	38,65
	DIAMETRO	100,32	100,53	100,61	100,97	100,61
C1-I	ESPEJOR	36,98	37,06	36,95	36,86	36,96
	DIAMETRO	101,18	101,44	101,26	101,33	101,30
C2-S	ESPEJOR	34,44	33,89	33,91	34,63	34,22
	DIAMETRO	101,07	101,39	101,24	101,15	101,21
C2-M	ESPEJOR	38,19	37,79	38,4	39,61	38,50
	DIAMETRO	100,66	101,21	100,91	101,17	100,99
C2-I	ESPEJOR	44,85	44,83	46,27	45,33	45,32
	DIAMETRO	101,11	100,78	101,18	101,34	101,10
C4-S	ESPEJOR	39,96	40,53	40,19	39,88	40,14
	DIAMETRO	100,71	101,01	100,67	101,34	100,93
C4-M	ESPEJOR	36,65	36,05	35,96	36,9	36,39
	DIAMETRO	101,22	100,83	100,27	101,1	100,86
C4-I	ESPEJOR	40,31	40,47	40,5	40,34	40,41
	DIAMETRO	101,26	101,21	101,13	101,12	101,18
C5-S	ESPEJOR	38,62	38,68	38,7	38,7	38,68
	DIAMETRO	100,84	101,08	101,39	101,17	101,12
C5-M	ESPEJOR	36,86	37,54	37	36,45	36,96
	DIAMETRO	101,23	100,43	100,7	100,84	100,80
C5-I	ESPEJOR	41,34	40,99	41,15	41,62	41,28
	DIAMETRO	101,12	101,12	100,54	100,36	100,79
C6-S	ESPEJOR	38,17	38,01	37,96	38,57	38,18
	DIAMETRO	101,25	101,36	100,72	100,95	101,07
C6-M	ESPEJOR	37,83	38,4	37,75	37,73	37,93
	DIAMETRO	101,14	100,68	100,93	100,54	100,82
C6-I	ESPEJOR	41,22	41,45	41,25	41,06	41,25
	DIAMETRO	100,95	101,07	100,82	101,17	101,00
C7-S	ESPEJOR	38,2	37,99	38,21	38,4	38,20
	DIAMETRO	101,34	100,85	101,28	101,05	101,13
C7-M	ESPEJOR	36,33	36,16	36,97	36,33	36,45
	DIAMETRO	100,83	101,03	100,83	100,61	100,83
C7-I	ESPEJOR	42,43	42,37	42,3	42,77	42,47
	DIAMETRO	101,1	101,23	101,31	101,22	101,22
C8-S	ESPEJOR	39,17	39,33	38,95	38,79	39,06
	DIAMETRO	100,2	100,8	99,47	99,85	100,08
C8-M	ESPEJOR	37,12	37	37,7	37,12	37,24
	DIAMETRO	99,98	100,32	98,56	100,55	99,85
C8-I	ESPEJOR	39,63	39,88	39,59	39,39	39,62
	DIAMETRO	100,97	100,7	101,13	100,81	100,90
C9-S	ESPEJOR	41,01	40,96	40,71	41,11	40,95
	DIAMETRO	100,81	100,65	100,7	100,02	100,55
C9-M	ESPEJOR	37,26	36,66	36,56	37,18	36,92
	DIAMETRO	100,77	100,99	100,76	100,84	100,84
C9-I	ESPEJOR	37,91	38,33	38,52	38,19	38,24
	DIAMETRO	100,36	100,92	100,86	100,73	100,72
C10-S	ESPEJOR	39,5	39,17	40,01	39,45	39,53
	DIAMETRO	100,46	101,08	100,8	101,45	100,95
C10-M	ESPEJOR	36,09	36,06	36,21	35,87	36,06
	DIAMETRO	99,9	100,54	100,37	100,93	100,44
C10-I	ESPEJOR	39,99	39,85	39,74	39,8	39,85
	DIAMETRO	99,71	100,85	100,77	100,7	100,51

*Tabla 3.30: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Enteros de la Mina Cariyacu*

<b>Briqueta</b>	<b>Espesor del espécimen (mm)</b>	<b>Diámetro del espécimen (mm)</b>	<b>Masa Seca (gr) A</b>	<b>Masa Sumergida (gr) C</b>	<b>Masa SSS (gr) B</b>	<b>Gravedad Bulk</b>	<b>Densidad</b>	<b>% de Agua absorbida</b>
C1	123,18	100,95	2299,46	1324,93	2300,23	2,358	2351	0,08
C2	125,6	101,04	2357,41	1359,67	2358,25	2,361	2354	0,08
C3	125,81	100,92	2357,17	1362,94	2358,21	2,368	2361	0,10
C4	125,36	100,91	2356,36	1361,19	2357,33	2,365	2358	0,10
C5	125,9	101,01	2363,53	1365,03	2364,59	2,365	2357	0,11
C6	126,7	100,79	2361,82	1356,79	2362,83	2,348	2341	0,10
C7	126,05	100,89	2360,44	1360,7	2361,4	2,359	2352	0,10
C8	124,7	100,19	2291,66	1314,64	2292,4	2,344	2337	0,08
C9	100,48	125,32	2318,01	1330,73	2319,01	2,345	2338	0,10
C10	100,43	124,7	2318,84	1337,24	2319,92	2,36	2353	0,11

Tabla 3.31: Gravedad Específica Bulk de Mezclas en Caliente Compactada (HMA) Usando Especímenes SSS de los Núcleos Parciales de la Mina Cariyacu

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS(HMA) USANDO ESPECÍMENES SSS								
Briqueta	Espesor del espécimen (mm)	Diámetro del espécimen (mm)	Masa Seca (gr) A	Masa Sumergida (gr) C	Masa SSS (gr) B	Gravedad Bulk	Densidad	% de Agua absorbida
C1-S	39,26	101,10	715,27	412,04	715,64	2,356	2349,00	0,12
C1-M	28,65	100,61	728,80	424,48	729,00	2,393	2386,00	0,07
C1-I	36,96	101,30	682,22	389,62	682,54	2,329	2322,00	0,11
C2-S	34,22	101,21	625,95	358,23	626,22	2,336	2329,00	0,10
C2-M	38,50	100,99	727,80	424,72	727,97	2,400	2393,00	0,06
C2-I	45,32	101,10	831,76	477,95	832,15	2,348	2341,00	0,11
C4-S	40,14	100,48	737,72	425,09	738,04	2,357	2350,00	0,10
C4-M	36,39	100,19	691,08	404,18	691,21	2,408	2400,00	0,05
C4-I	40,41	100,48	748,54	428,72	748,76	2,339	2332,00	0,07
C5-S	38,68	101,12	717,31	410,71	717,56	2,338	2331,00	0,08
C5-M	36,96	100,80	702,53	410,39	702,81	2,402	2395,00	0,10
C5-I	41,28	100,79	758,21	436,03	758,84	2,349	2342,00	0,20
C6-S	38,18	101,07	696,99	398,01	697,54	2,327	2320,00	0,18
C6-M	37,93	100,82	721,96	420,70	722,36	2,393	2386,00	0,13
C6-I	41,25	101,00	753,33	429,72	753,85	2,324	2317,00	0,16
C7-S	38,20	101,13	702,84	403,74	702,32	2,346	2339,00	0,16
C7-M	36,45	100,83	693,35	403,21	693,91	2,385	2378,00	0,19
C7-I	42,47	101,22	785,11	450,15	785,57	2,341	2334,00	0,14
C8-S	39,06	101,05	699,03	398,13	699,32	2,321	2314,00	0,10
C8-M	37,24	99,85	693,88	402,96	694,16	2,383	2376,00	0,10
C8-I	39,62	100,90	717,03	409,10	717,31	2,326	2319,00	0,09
C9-S	40,95	100,55	693,01	395,10	693,27	2,324	2317,00	0,09
C9-M	36,95	100,84	688,56	399,21	688,88	2,377	2370,00	0,11
C9-I	38,24	100,72	751,76	430,27	752,10	2,336	2329,00	0,11
C10-S	39,53	100,95	719,79	411,13	720,09	2,334	2327,00	0,10
C10-M	36,06	100,44	682,78	397,84	683,17	2,393	2386,00	0,14
C10-I	39,85	100,51	732,32	420,30	732,70	2,344	2337,00	0,12

Donde la identificación de cada porción de cada espécimen se designa de la siguiente manera:

- ♦ S superior
- ♦ M medio
- ♦ I inferior.

En la Tabla 3.32. se tiene el resumen de los valores obtenidos del ensayo de gravedad específica Bulk de los especímenes ensayados.

*Tabla 3.32: Tabla Resumen de los Resultados del Ensayo de Gravedad Específica Bulk*

<u>Muestra</u>	<u>Gmm</u>
C1	2,358
C2	2,361
C3	2,368
C4	2,365
C5	2,365
C6	2,348
C7	2,359
C8	2,344
C9	2,345
C10	2,36
<b>Promedio</b>	<b>2,357</b>

### **3.4. Módulo Dinámico**

#### **3.4.1. Tabulación de Datos**

Mediante el programa del ensayo de módulo dinámico TP-62 Dynamic Modulus Cooper Technology, se obtuvieron los módulos dinámicos de cada uno de los especímenes para las diferentes combinaciones de frecuencia y temperatura. A continuación se presentan las tablas resumen de los módulos dinámicos de cada una de las mezclas asfálticas utilizadas:

Tabla 3.33: Módulos Dinámicos de la Mezcla 1 (Mina Tahuando – Ibarra): Planta PANAVAL

TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO DINÁMICO (Mpa)								
		Muestra I1	Muestra I2	Muestra I4	Muestra I5	Muestra I6	Muestra I7	Muestra I8	Muestra I9	Muestra I10
-10	25	21457,7	19629,8	15876,0	17164,5	19899,8	17861,2	15360,3	24251,7	16001,6
	10	22958,8	16857,6	16341,3	16349,0	19557,9	17093,2	13073,2	25916,8	14737,0
	5	22086,6	16518,7	15858,0	15726,7	19158,9	16642,9	12969,0	23843,6	13473,7
	1	19956,2	14872,5	14815,7	14192,5	17722,9	15285,7	11580,0	21034,8	11745,8
	0,5	19131,3	14483,2	14433,5	13762,2	17066,7	15041,7	11316,5	19754,7	11352,6
	0,1	17634,0	13009,2	13356,7	12567,4	15456,9	13558,7	10057,0	17273,6	10630,2
4	25	16122,3	14215,7	13399,7	13012,8	15025,0	13584,0	13115,0	16593,5	13924,9
	10	15871,7	12118,0	12802,0	11942,4	13633,4	12215,4	11091,8	15515,3	11720,6
	5	14766,1	11768,9	11973,7	11270,0	12687,5	11542,5	10696,5	14341,4	11006,4
	1	12366,3	9777,6	10133,8	9165,3	10179,5	9298,0	8585,6	11724,9	8600,2
	0,5	11231,6	9138,9	9317,0	8419,5	9174,2	8534,2	7842,7	10631,1	7367,3
	0,1	8882,3	7508,9	7472,1	6772,7	7169,7	6769,3	6205,7	8414,8	4464,9
21	25	8704,4	8894,0	7555,4	8416,2	8826,4	7681,8	7611,4	8624,6	6796,0
	10	7713,2	7736,5	6603,6	7314,3	7481,4	6746,1	6448,5	7513,5	5761,6
	5	6876,5	6972,7	5899,1	6463,5	6567,9	5960,5	5670,4	6458,2	4958,0
	1	4983,7	5030,7	4162,5	4560,8	4576,6	4186,9	3861,6	4466,5	3340,2
	0,5	4368,2	4389,5	3540,3	3901,4	3890,1	3574,0	3219,4	3773,0	2704,7
	0,1	3105,0	3088,3	2464,4	2679,6	2674,1	2431,9	2179,8	2543,0	1789,2
37	25	3442,5	3409,7	2682,6	3055,3	3253,0	2739,1	2744,2	2925,5	2212,4
	10	2865,1	2807,9	2109,2	2391,2	2549,1	2244,7	2258,8	2291,0	1767,8
	5	2432,3	2353,2	1717,8	1949,5	2071,0	1850,1	1833,7	1875,9	1453,9
	1	1595,0	1496,8	1061,0	1229,4	1253,0	1148,7	1140,0	1154,0	890,8
	0,5	1361,3	1241,1	878,2	1015,6	1013,2	978,4	962,6	978,3	747,9
	0,1	932,7	938,1	633,1	714,1	679,6	706,2	684,6	676,2	493,6
54	25	1111,1	1040,2	837,4	1004,1	982,5	1026,6	1152,1	955,0	781,7
	10	987,6	914,1	728,1	870,9	841,0	881,4	1001,3	788,1	715,4
	5	827,0	808,7	602,1	726,7	682,9	728,6	836,4	668,5	604,9
	1	603,2	581,8	422	520,0	508,3	504,2	606,2	579,5	523,4
	0,5	569,2	423,3	355,2	240,5	51,3	556,6	565,4	423,6	401,5
	0,1	509,8	422,0	240,6	37,2	30,2	154,3	495,1	384,0	390,0

NOTA: La muestra I3 fue el testigo para la verificación de temperatura de la máquina.

Tabla 3.34: Módulos Dinámicos de la Mezcla 2 (Mina Cariyacu – Cotacachi): Planta DPM

TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO DINÁMICO (Mpa)								
		Muestra C1	Muestra C2	Muestra C4	Muestra C5	Muestra C6	Muestra C7	Muestra C8	Muestra C9	Muestra C10
-10	25	25801,3	25120,6	20092,1	28928,1	17998,5	27295	20344,6	27998,1	16027,4
	10	27048,6	23308,1	18974,5	27290	13473,9	25102,8	20102,1	26829,9	13040,6
	5	26507,2	22569,1	18525,4	26285,7	13104,7	24231,2	19162,7	24739,2	12788,3
	1	24400,3	20134,5	16576,1	23901,3	11336,6	21666,4	17080,7	21519,6	11404,6
	0,5	23523,6	19574,5	15946,8	22924,1	11015,4	20859,9	16483,7	20434,8	11199,9
	0,1	21124,3	18006	14483,9	21204,1	9881,1	18544,9	15516,9	16888,5	10380,4
4	25	15941	17524,4	14408,2	18775,6	11555,3	15053,4	13450,1	18249,8	11691,6
	10	15987	15582,7	12897,1	18193,9	9571,7	12627,9	12289,7	17047,8	10108,3
	5	14756,4	14960,8	12227,6	16532,5	93112,3	11887,1	11622,9	15631,6	9691,4
	1	11841	12225,6	10007,4	13823,2	7573,2	9446,3	9572,7	12737,4	7879,1
	0,5	10894,9	11267,7	9242,7	12357,7	6991,4	8540,5	8788,2	11433	7294,8
	0,1	8635,7	9230	7428	9571,8	5604,2	6660,7	6908,7	8778,4	5896,3
21	25	9804	10290	7795,4	8321,1	6624,9	7376,5	8652	9236,9	6799,6
	10	8378,1	8876,7	6565,4	6963	5744,6	6200,7	7361,3	7860	6072,4
	5	7453,8	7942,7	5803,2	5997,4	5099	5417,1	6390,3	6774,1	5366,1
	1	5301,2	5717,3	4058,2	4172,3	3510,8	3589,4	4333,8	4636,7	3736,9
	0,5	4520	5005,1	3459	3555,5	3049,8	3030,2	3617,8	3928,8	3194,9
	0,1	3091,9	3460	2413,8	2438,4	2094,3	2041,2	2385	2682,6	2217,7
37	25	3524,5	3815,7	2991,6	3114,2	2767	2645,6	2862,4	2970,9	2666
	10	2805,1	3095,9	2460,4	2515,7	2208,8	2152,4	2245,9	2369,8	2171
	5	2297,5	2562,4	2033,3	2056,7	1824,4	1751,4	1816,7	1919,1	1824,1
	1	1438,3	1644,8	1271,5	1318,7	1164,7	1108,3	1145,6	1213,3	1143,5
	0,5	1194,5	1402,6	1054,8	1135,3	953	931,9	946,7	1005,7	994,6
	0,1	819,3	969,2	744,9	804,9	674,9	666	697,5	727,3	680,8
54	25	1154,7	1081,3	983,9	1313,6	1026,9	939,4	927,6	1067	968,9
	10	1011	974,9	798,4	1246,7	1699,6	744,1	806,5	991	23,5
	5	860,6	815,4	716,6	1128,8	753	707,7	671,4	333,2	701
	1	606,2	591,2	573,7	951,6	245	559,2	481	562,2	501,5
	0,5	244,4	546,4	448,8	868,6	503,2	424,1	457,2	518,9	161,4
	0,1	457,2	437,2	447,5	748,4	360,9	352,3	358,7	162,4	62,2

**NOTA:** La muestra C3 fue el testigo para la verificación de temperatura de la máquina.



### 3.4.2. Metodología para Elaborar el Programa en Excel para la Construcción de las Curvas Maestras

Enseguida tenemos la explicación de la metodología utilizada para la generación de la curva maestra de módulo dinámico, ésta metodología puede ser utilizada para cualquier mezcla asfáltica en caliente:

#### ♣ Paso 1:

Recurriendo a los datos de la sección 3.4.1, se realiza un gráfico que relaciona el módulo obtenido respecto a cada temperatura, teniendo así seis curvas para cada frecuencia de carga ensayada.

#### ♣ Paso 2:

Se elabora una tabla de manera ordenada, con los siguientes componentes:

- Temperatura en °C: Las cinco temperaturas que se les sometió a los especímenes, siendo estas -10, 4, 21, 37 y 54°C.
- Frecuencia en Hz: Para cada temperatura se colocan las seis frecuencias de carga dinámica aplicada, las mismas que se encuentran en la Tabla 2.5: Número de ciclos por cada frecuencia.
- Módulo dinámico E en Mpa: Obtenido a partir de los resultados del ensayo.
- Logaritmo de la frecuencia  $\log(f)$ : Calculado a partir del logaritmo en base 10 de la frecuencia de ensayo.
- Logaritmo de la frecuencia reducida: Este valor se obtiene haciendo uso de la ecuación 1.8.
- Log E\* medido: El valor se encuentra mediante el logaritmo en base 10 del módulo dinámico obtenido como resultado del ensayo.
- Log E\* predicho: Se obtiene a partir de la fórmula sigmoideal descrita mediante la ecuación 1.7 de este documento.
- Errores Cuadrados: Es el cuadrado del error absoluto entre el Log E\* predicho y el Log E\* medido.
- E\* predicho.

En el Anexo 5 de la presente disertación se encuentra un ejemplo de la tabla antes mencionada.

♦ Paso 3:

Para finalizar la tabla se deben ingresar valores iniciales de tanteo de las variables que serán modificadas, obteniendo el mejor ajuste de la curva maestra. Los cuales son:  $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y los diferentes valores de Shift Factor  $\log [a(T)]$ , correspondiente para cada una de las temperaturas de ensayo. Como referencia se toma la temperatura de 21 °C en el que el logaritmo del Shift factor es igual a cero.

Debido a que estos valores deben trabajar en conjunto para producir el menor error posible, se utiliza la función SOLVER de EXCEL, realizando de esta manera las iteraciones adecuadas y ajustando estos valores para que la suma de la diferencia al cuadrado entre los módulos predichos con la función sigmoïdal y los módulos medidos sea la mínima posible.

♦ Paso 4:

Una vez hallados los valores de corrección, se logra obtener los valores de módulos predichos y logaritmo de frecuencia reducida, con los cuales se generará los siguientes gráficos:

- Temperatura versus logaritmo del Shift Factor, la cual se puede evidenciar en la Figura 1.7.
- Logaritmo de frecuencia reducida versus el logaritmo de  $E^*$  predicho y del  $E^*$  medido.

Con esto se obtiene finalmente la curva maestra del módulo dinámico, la misma que servirá para ser ingresada en el programa Mecánico – Empírico, desarrollado por la AASHTO.

### **3.4.3. Generación de la Curva Maestra**

A continuación, en los gráficos mostrados se encuentran los datos de las variables que fueron iteradas, como también los gráficos señalados en el Paso 4, de la sección 3.4.2 del presente documento.

#### **3.4.3.1.MEZCLA 1: PLANTA PANAVIAL – IMBAYA/ IBARRA**

Figura 3.3: Curva Maestra de la Muestra II

Diámetro (mm)	100,9	$\log [a(T)]$	$T (^{\circ}C)$
$d$	2,32481161	4,99062753	-10
$b$	-0,64045359	2,58414587	4
$\alpha$	2,08399446	0	21
$\gamma$	0,44030837	-2,14952993	37
		-4,18301394	54

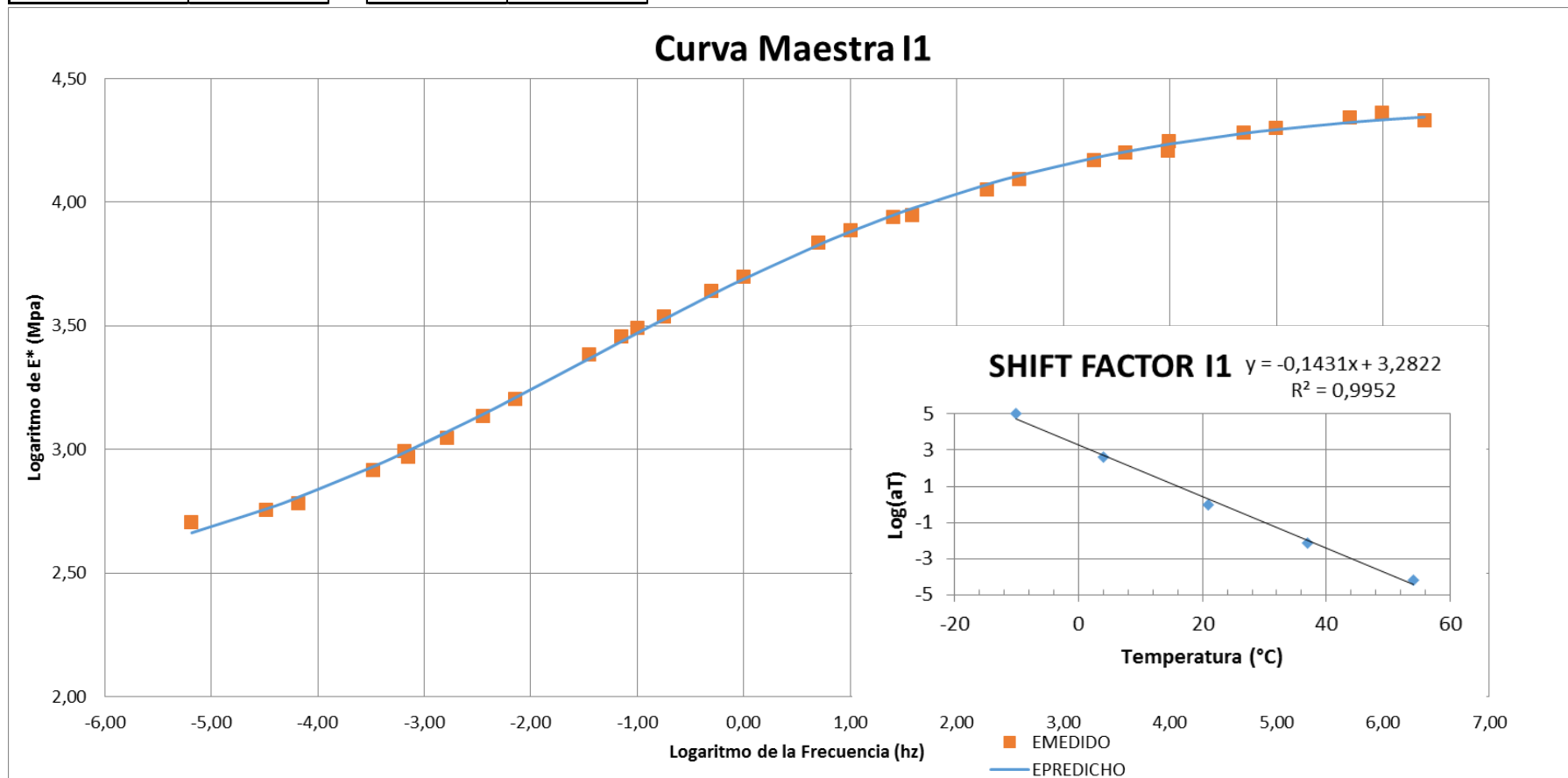


Figura 3.4: Curva Maestra de la Muestra I2

<b>Diámetro (mm)</b>	100,8	<b>Log [a(T)]</b>	<b>T (°C)</b>
<b>d</b>	2,27546033	4,31966737	-10
<b>b</b>	-0,86807566	2,23672277	4
<b>α</b>	1,9769352	0	21
<b>γ</b>	0,55497583	-1,86053824	37
		-3,62063214	54

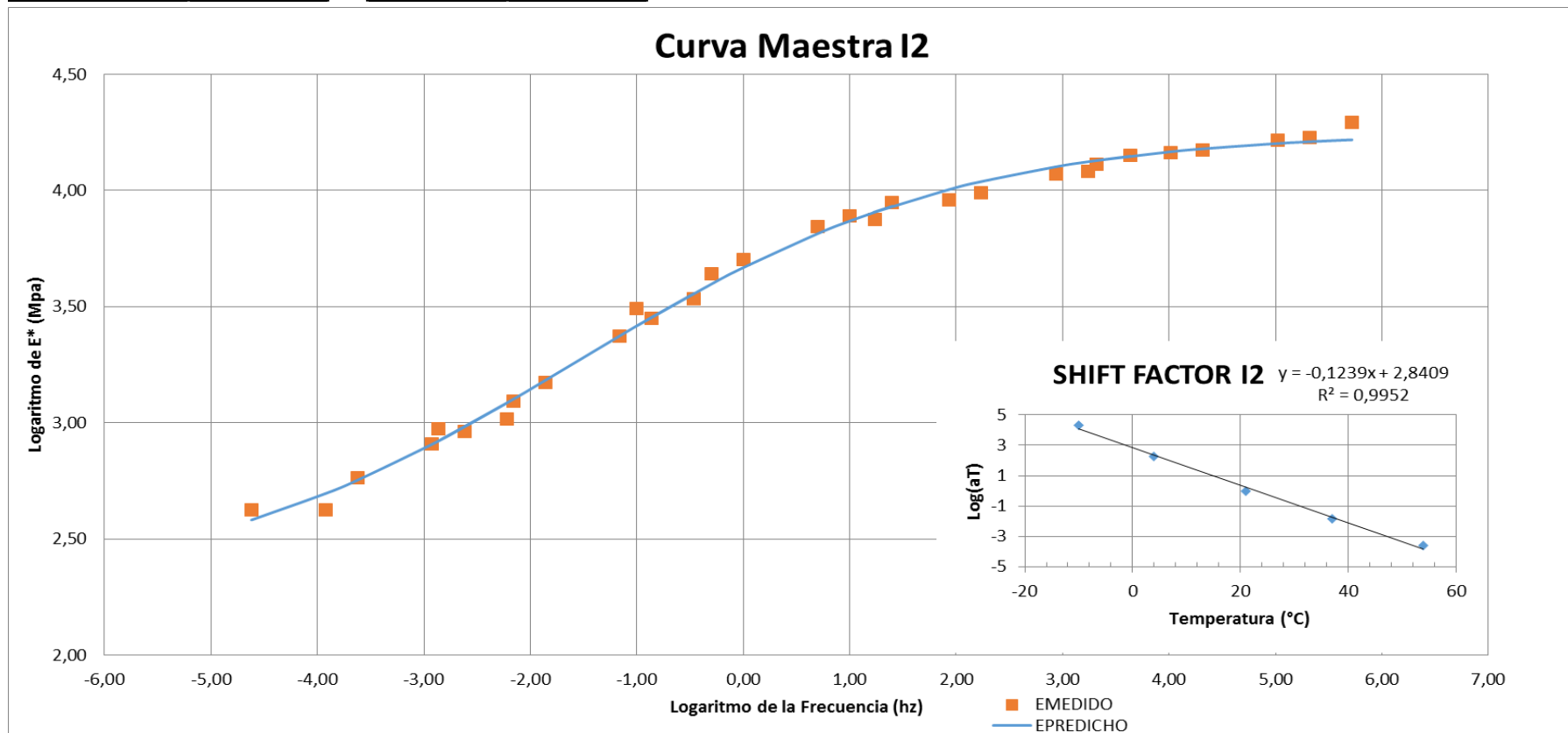


Figura 3.5: Curva Maestra de la Muestra I4

Diámetro (mm)	100,9	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d$	2,08718543	4,32667719	-10
$b$	-0,83398946	2,24035245	4
$\alpha$	2,16426896	0	21
$\gamma$	0,55359066	-1,86355746	37
		-3,62650758	54

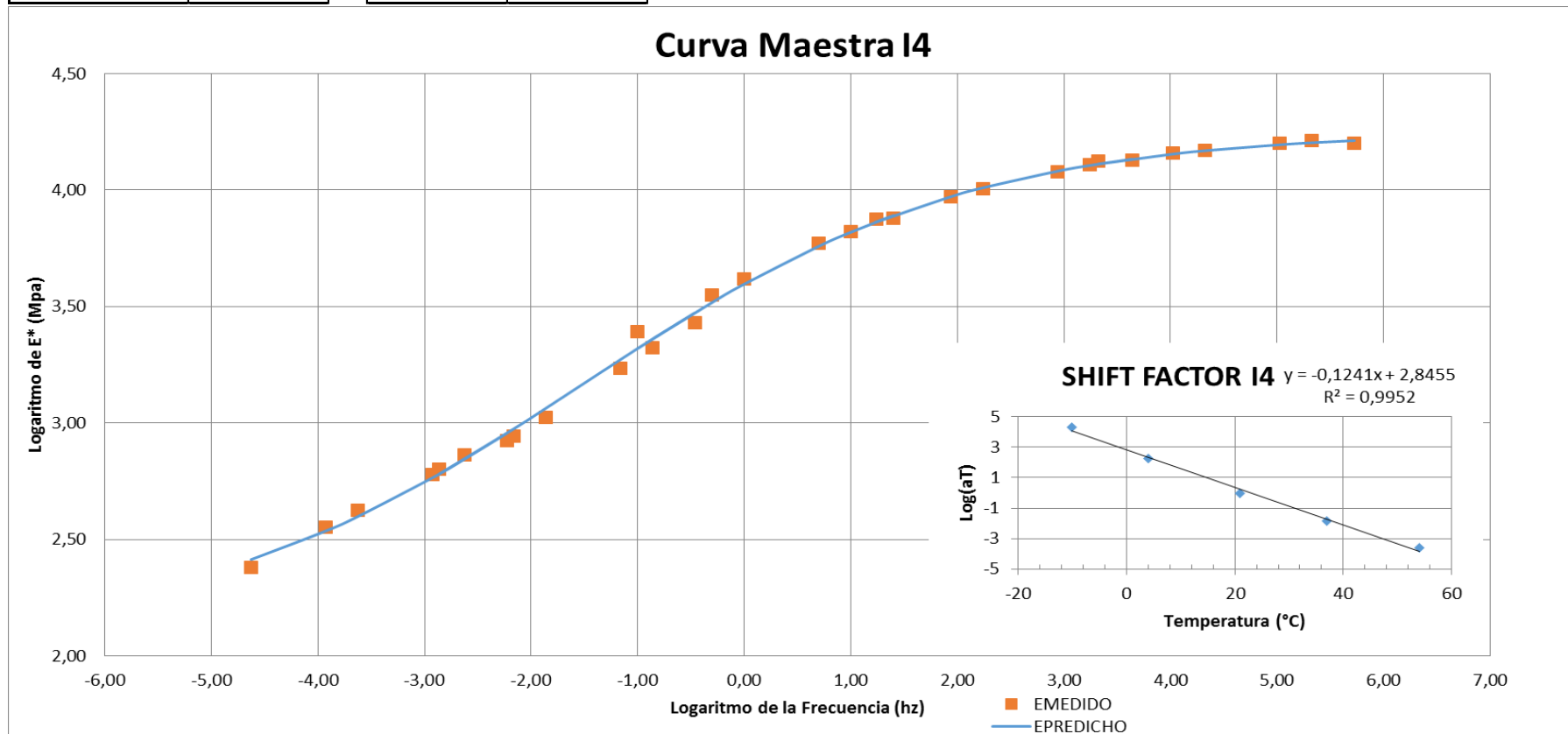


Figura 3.6: Curva Maestra de la Muestra I5

<b>Diámetro (mm)</b>	101,0	<b>Log [a(T)]</b>	<b>T (°C)</b>
<b>d</b>	-313,857819	3,86861954	-10
<b>b</b>	-6,05399944	2,01482993	4
<b>α</b>	318,247737	0	21
<b>γ</b>	0,29034928	-1,69537561	37
		-3,31572042	54

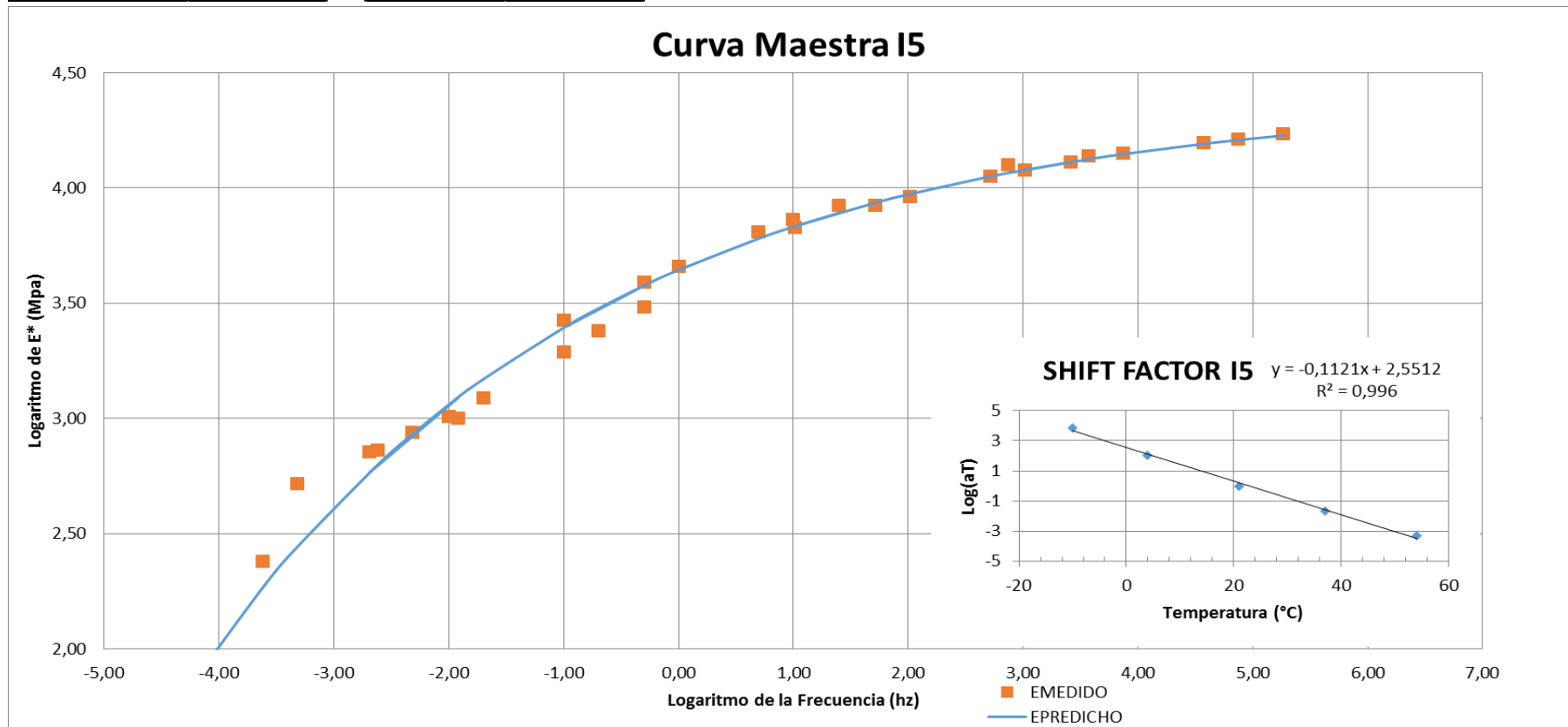


Figura 3.7: Curva Maestra de la Muestra I6

Diámetro (mm)	101,1	$\log [a(T)]$	$T (^{\circ}C)$
$d$	-4,6158821	4,31637733	-10
$b$	-2,56358889	2,23502144	4
$\alpha$	8,95605355	0	21
$\gamma$	0,37525199	-1,85912676	37
		-3,61788848	54

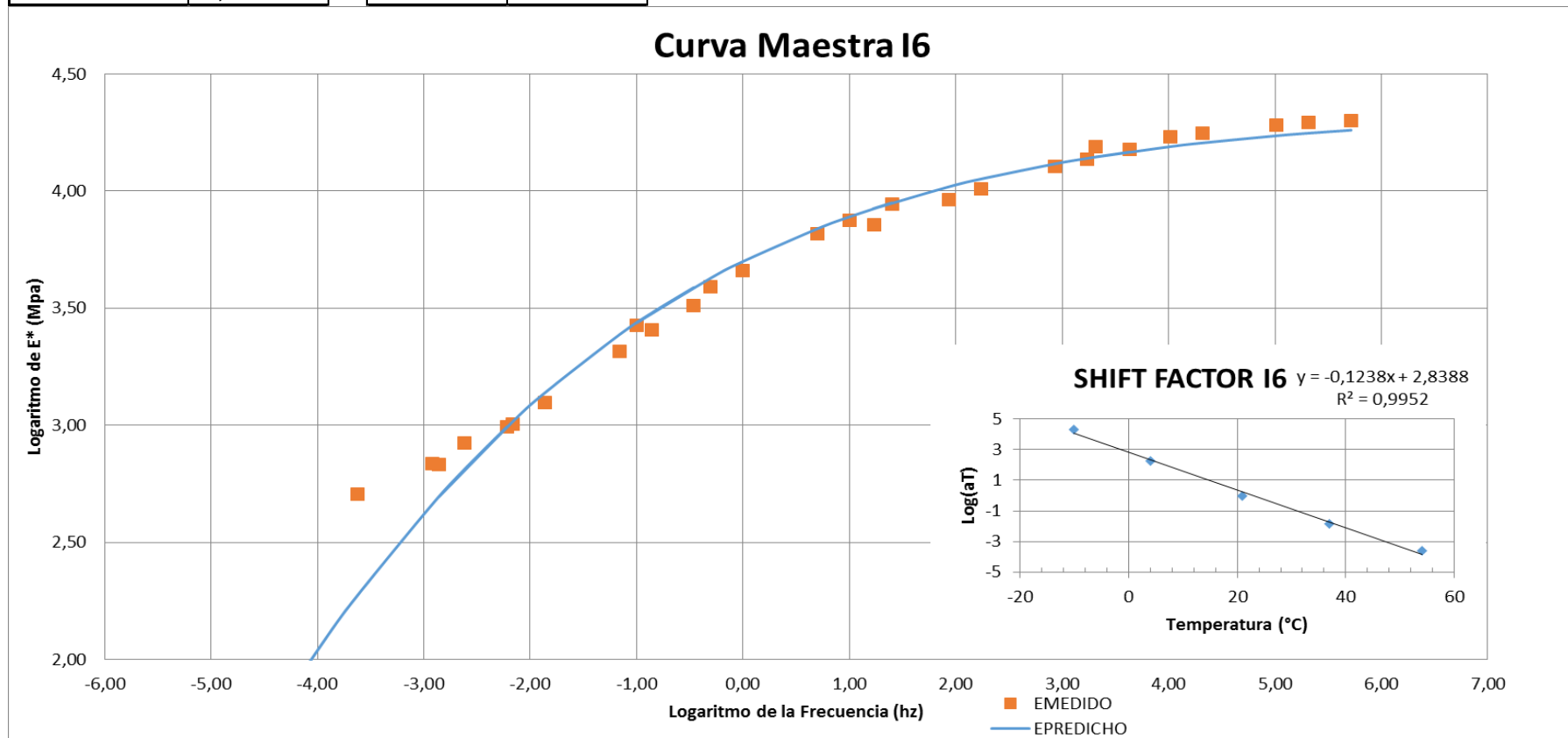


Figura 3.8: Curva Maestra de la Muestra I7

Diámetro (mm)	101	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d$	1,06393308	4,3164557	-10
$b$	-1,1264055	2,23505976	4
$\alpha$	3,3501738	0	21
$\gamma$	0,34627651	-1,85915493	37
		-3,6179402	54

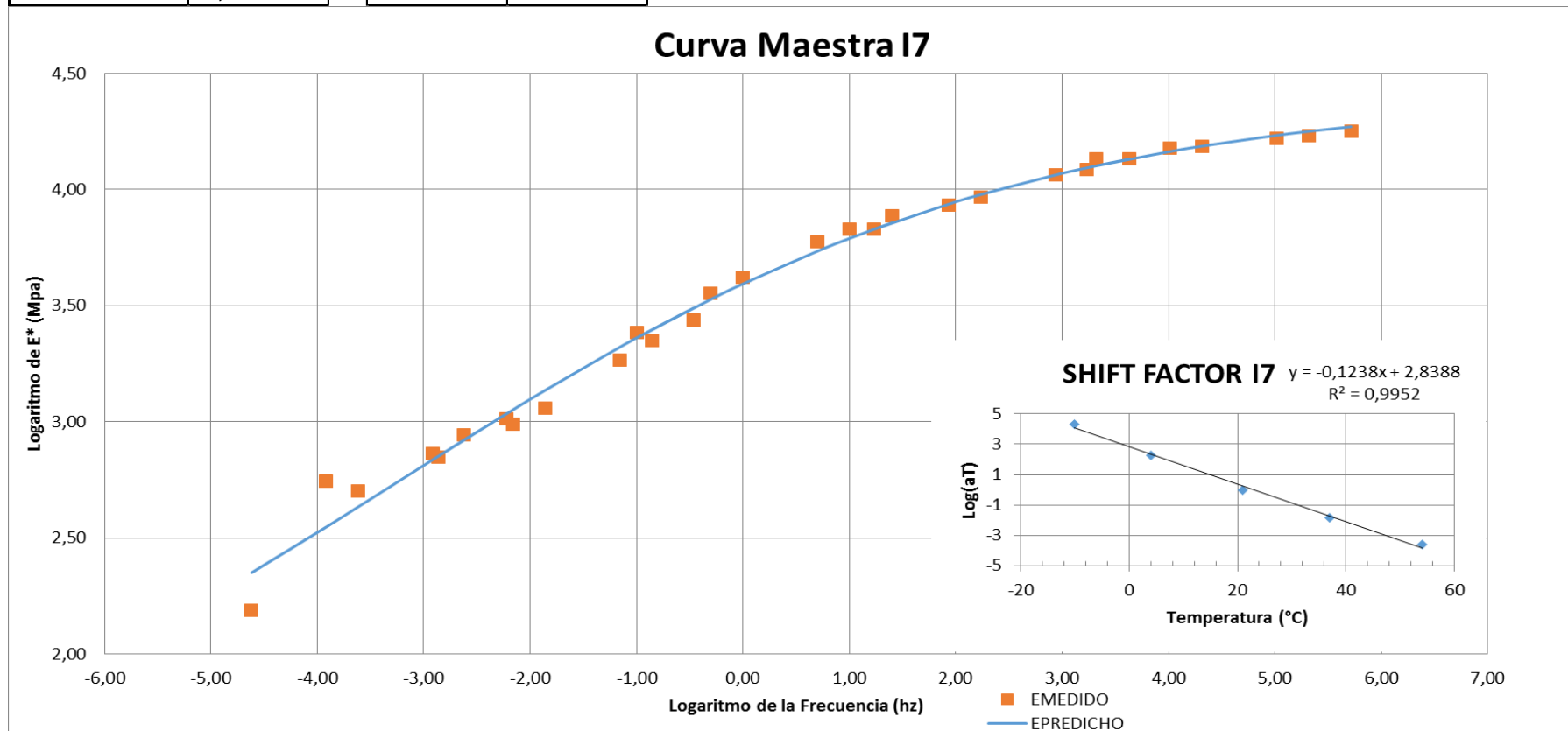




Figura 3.9: Curva Maestra de la Muestra I8

Diámetro (mm)	100,9	$\log [a(T)]$	$T (^{\circ}C)$
$d$	2,57854752	3,73511908	-10
$b$	-0,50364176	1,96245767	4
$\alpha$	1,5767391	0	21
$\gamma$	0,72188642	-1,68097887	37
		-3,31356697	54

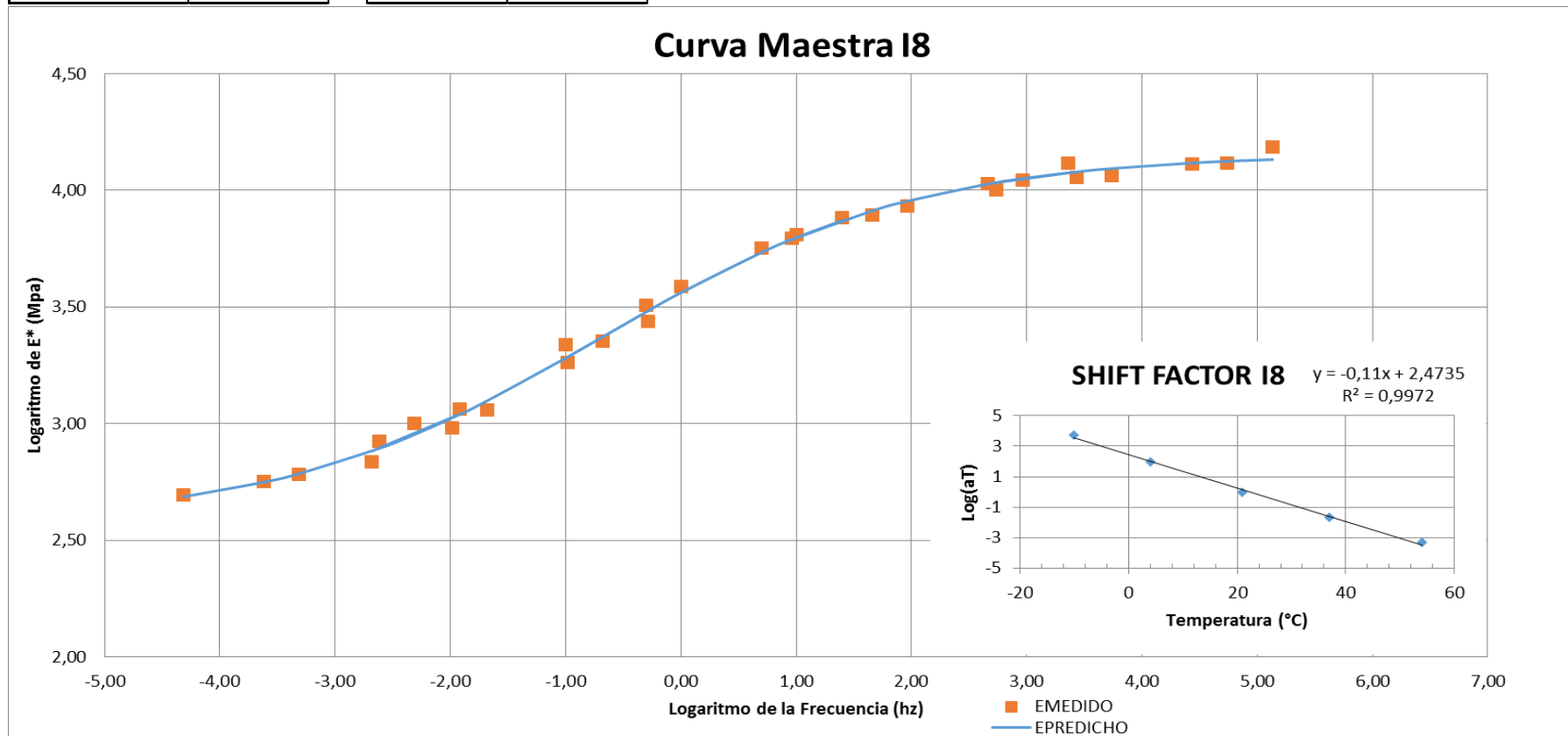


Figura 3.10: Curva Maestra de la Muestra I9

Diámetro (mm)	100,9	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d$	2,29628848	4,31758913	-10
$b$	-0,45979713	2,23564665	4
$\alpha$	2,14843751	0	21
$\gamma$	0,52815343	-1,85964312	37
		-3,61889022	54

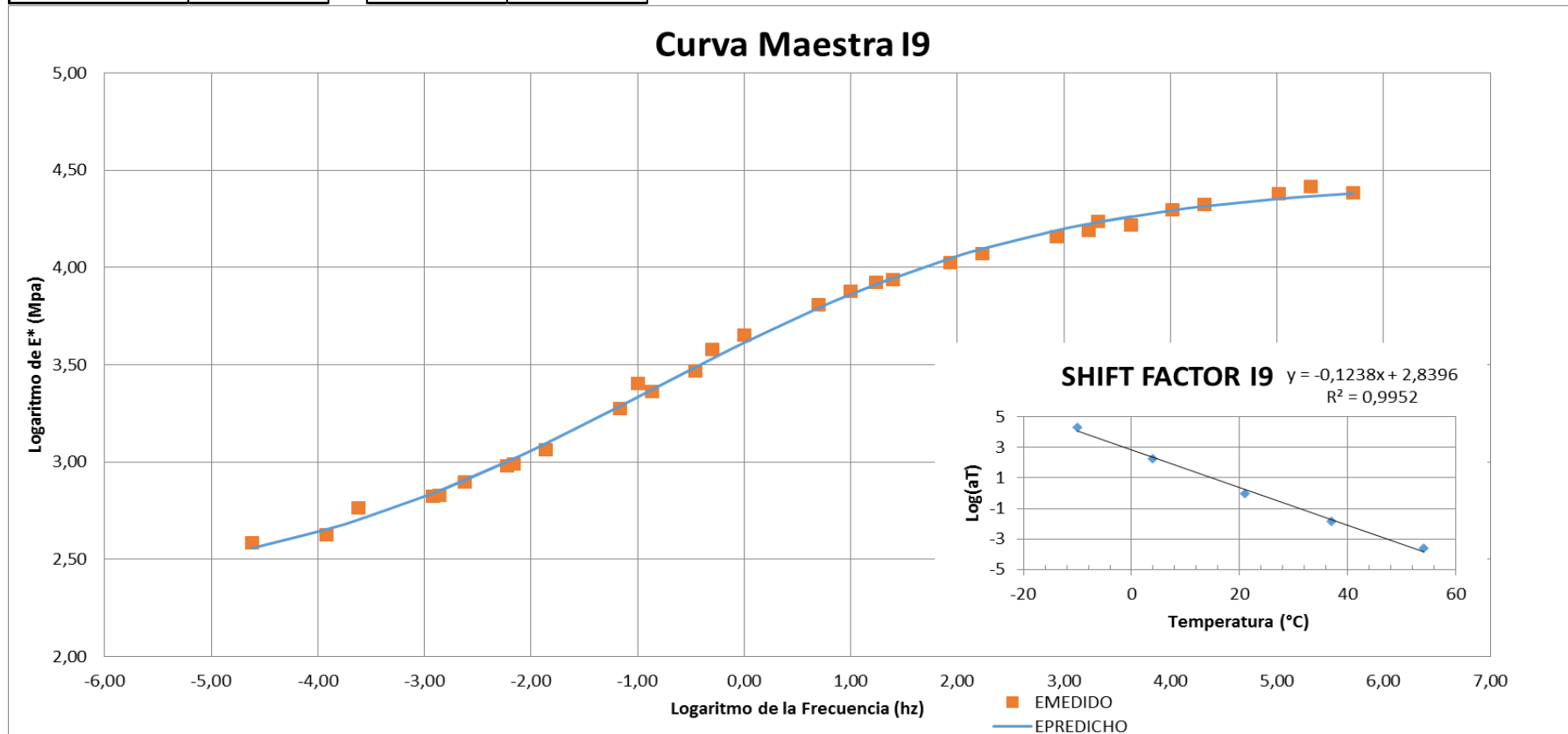


Figura 3.11: Curva Maestra de la Muestra I10

<b>Diámetro (mm)</b>	100,9	<b>Log [a(T)]</b>	<b>T (°C)</b>
<b>d</b>	2,49625221	3,30425303	-10
<b>b</b>	-0,28296912	1,81196176	4
<b>α</b>	1,7275989	0	21
<b>γ</b>	0,71300265	-1,70526938	37
		-3,51700505	54

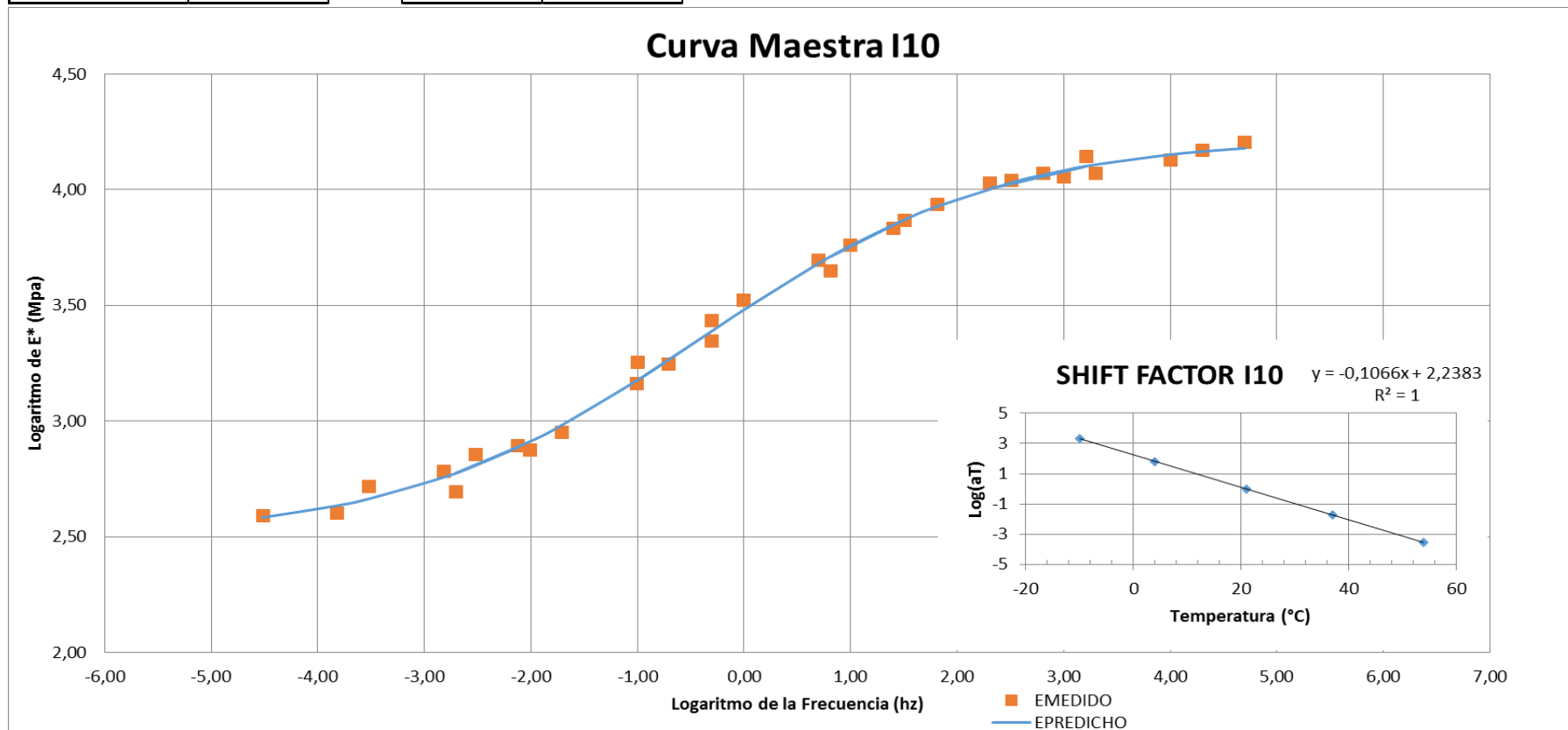
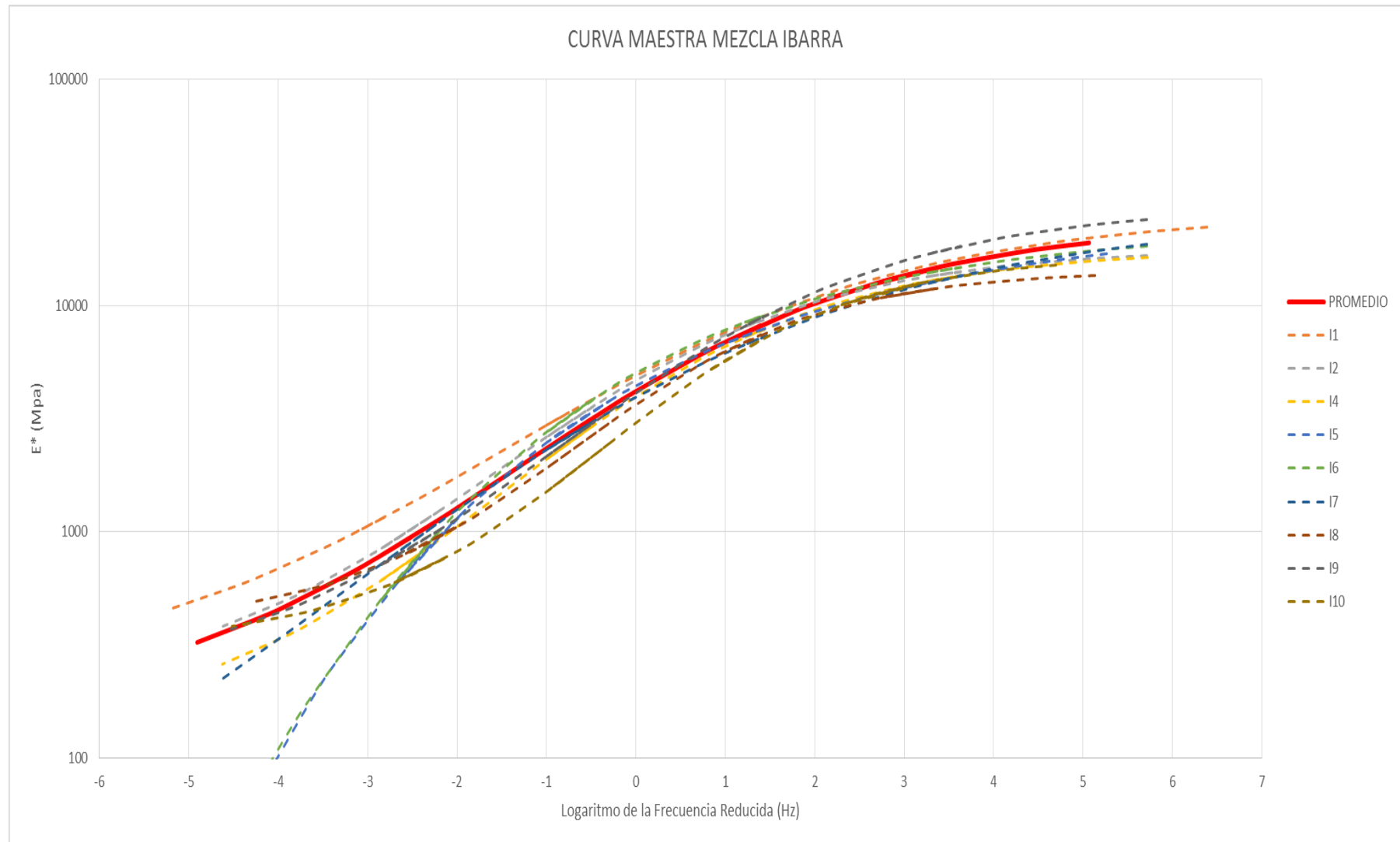


Figura 3.12: Curva Maestra Mezcla Ibarra



#### **3.4.3.2.MEZCLA 2: PLANTA DPM- CARIYACU/COTACACHI**

Figura 3.13: Curva Maestra de la Muestra C1

Díámetro (mm)	101,1	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d'$	1,9596475	4,31710986	-10
$\theta$	-0,71783592	2,23539849	4
$\alpha$	2,56473815	0	21
$\gamma$	0,43559672	-1,85943669	37
		-3,6184885	54

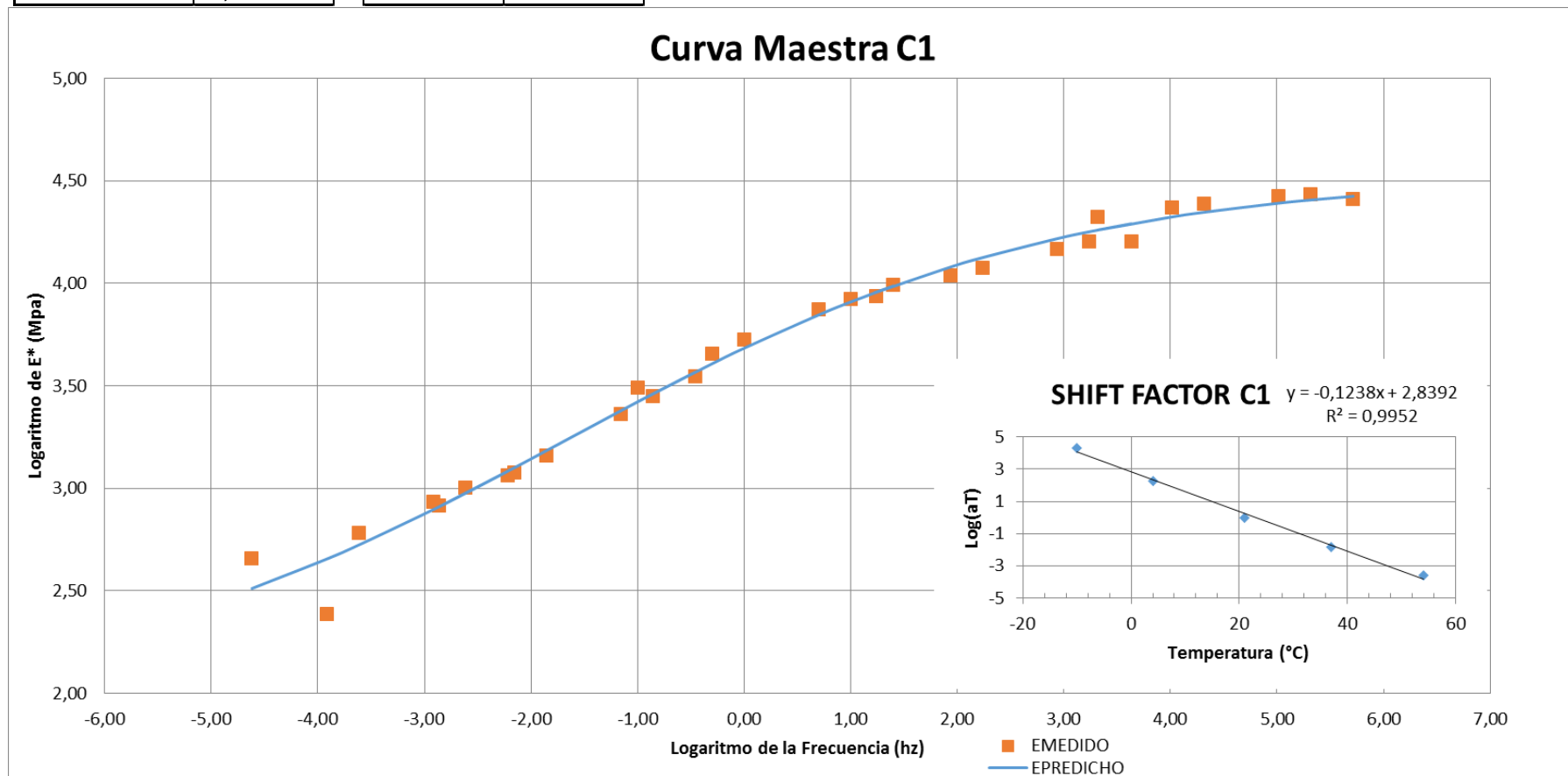


Figura 3.14: Curva Maestra de la Muestra C2

Diámetro (mm)	101	$\log [a(T)]$	$T (^{\circ}C)$
$d$	2,28679276	4,12428778	-10
$b$	-0,69493777	2,25388595	4
$\alpha$	2,17419338	0	21
$\gamma$	0,4459213	-2,10415507	37
		-4,32182089	54

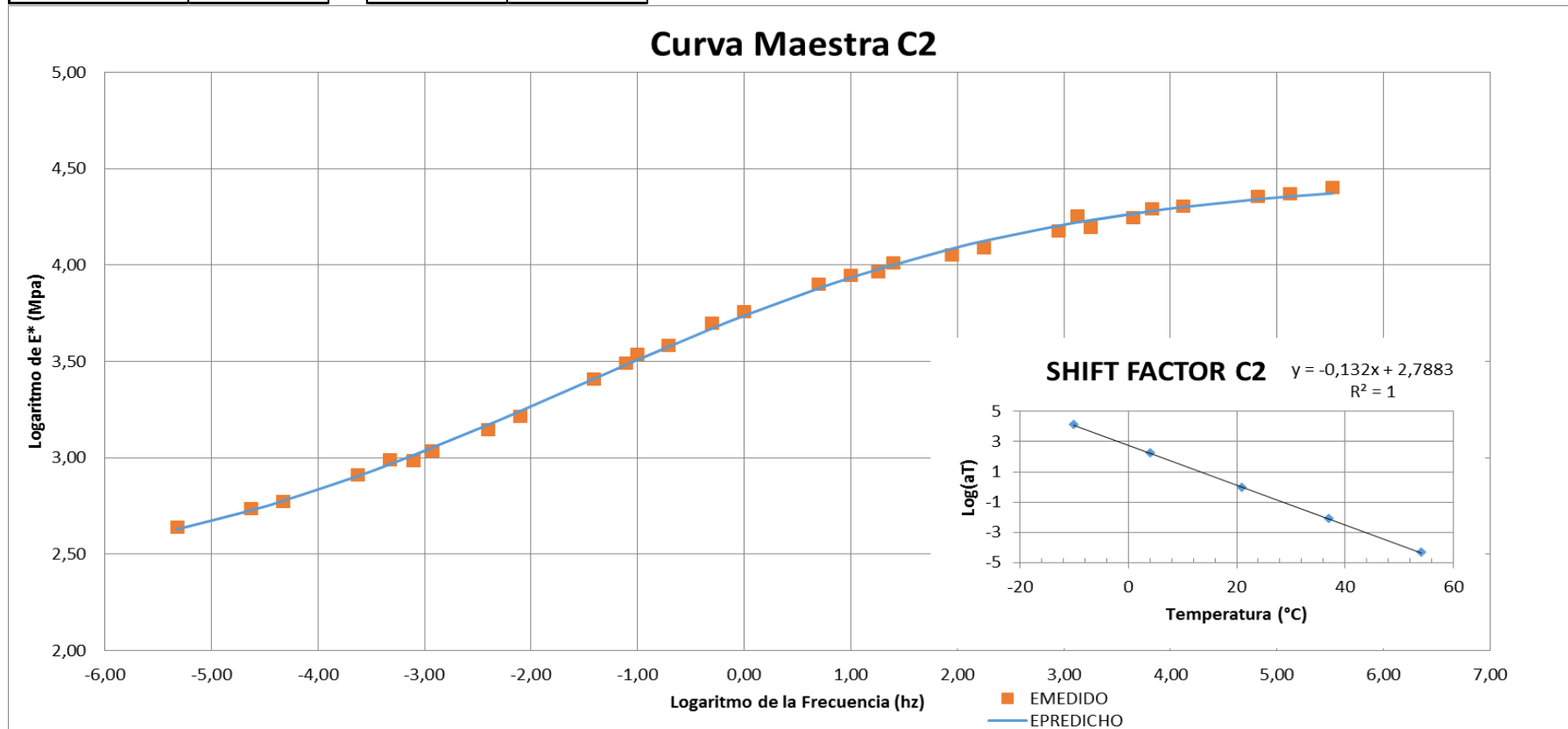


Figura 3.15: Curva Maestra de la Muestra C4

Diámetro (mm)	100,9	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d$	2,34762365	4,32354602	-10
$b$	-0,52956813	2,23873113	4
$\alpha$	1,98098563	0	21
$\gamma$	0,53318008	-1,86220883	37
		-3,62388312	54

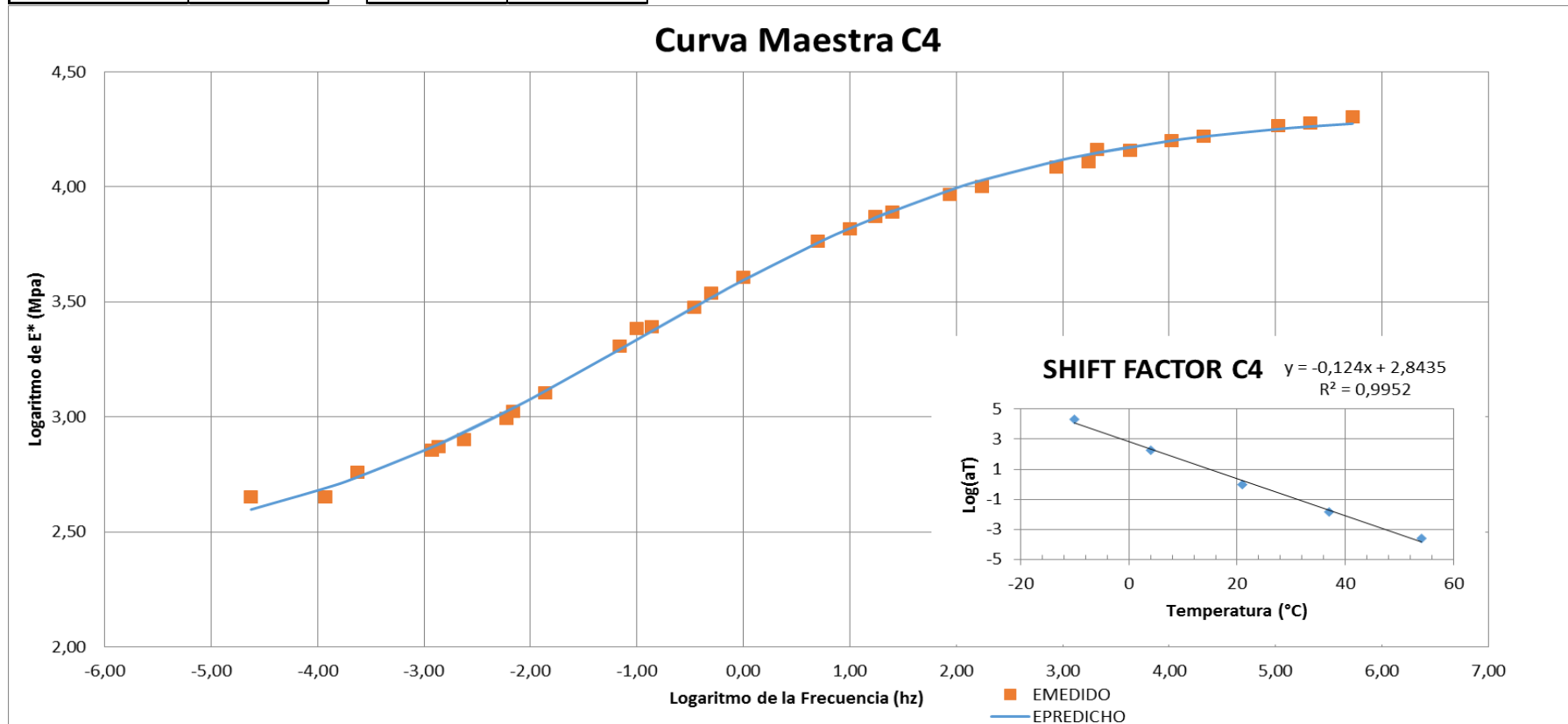




Figura 3.16: Curva Maestra de la Muestra C5

<b>Diámetro (mm)</b>	101,0	<b>Log [a(T)]</b>	<b>T (°C)</b>
<b>d</b>	2,79236775	4,51580814	-10
<b>b</b>	0,07459359	2,33828441	4
<b>α</b>	1,69970108	0	21
<b>γ</b>	0,60108632	-1,94501868	37
		-3,7850322	54

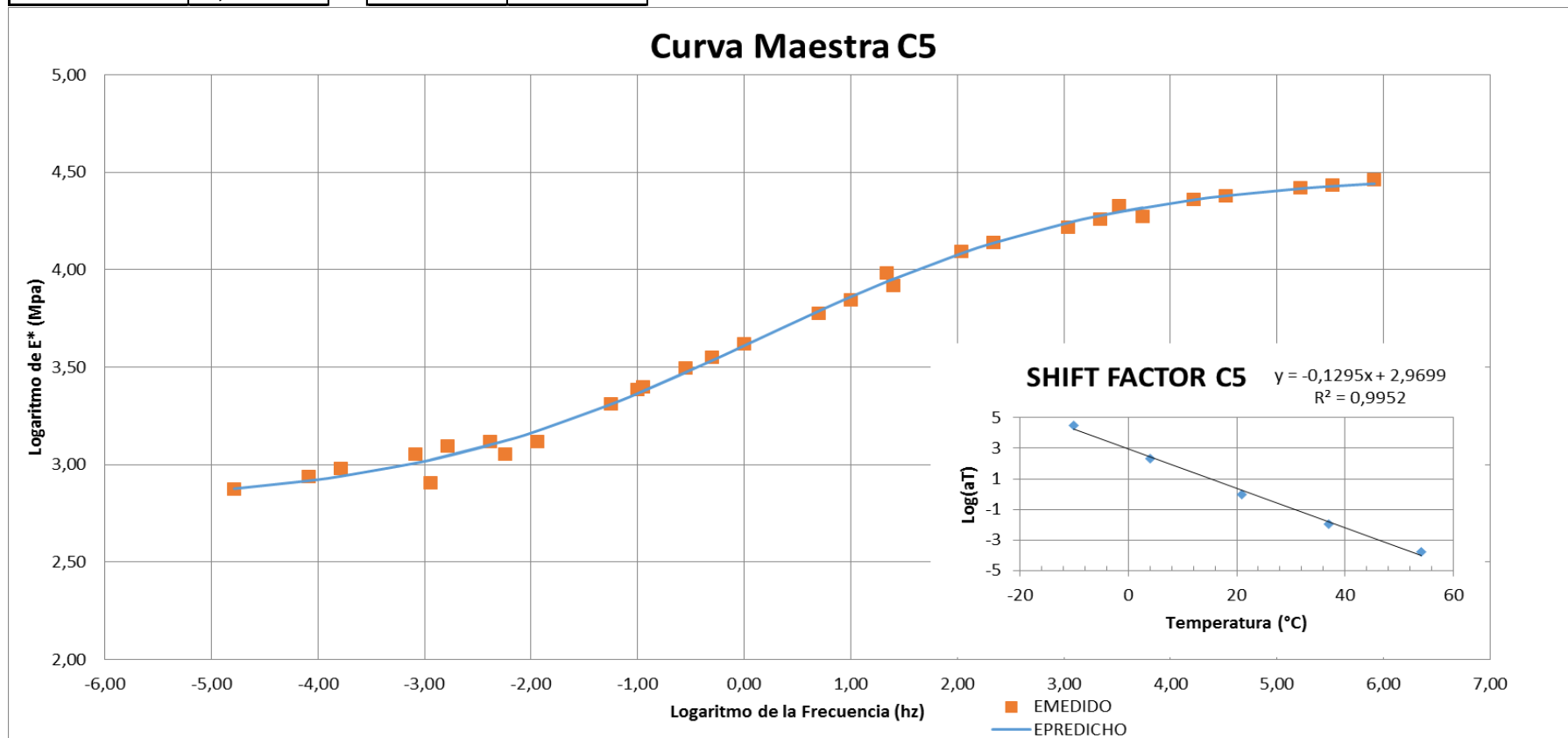


Figura 3.17: Curva Maestra de la Muestra C6

Diámetro (mm)	100,8	$\log [a(T)]$	$T (^{\circ}C)$
$d$	2,30808636	2,95930755	-10
$b$	-0,49853696	1,62282875	4
$\alpha$	2,01315083	0	21
$\gamma$	0,62113386	-1,52732979	37
		-3,15007685	54

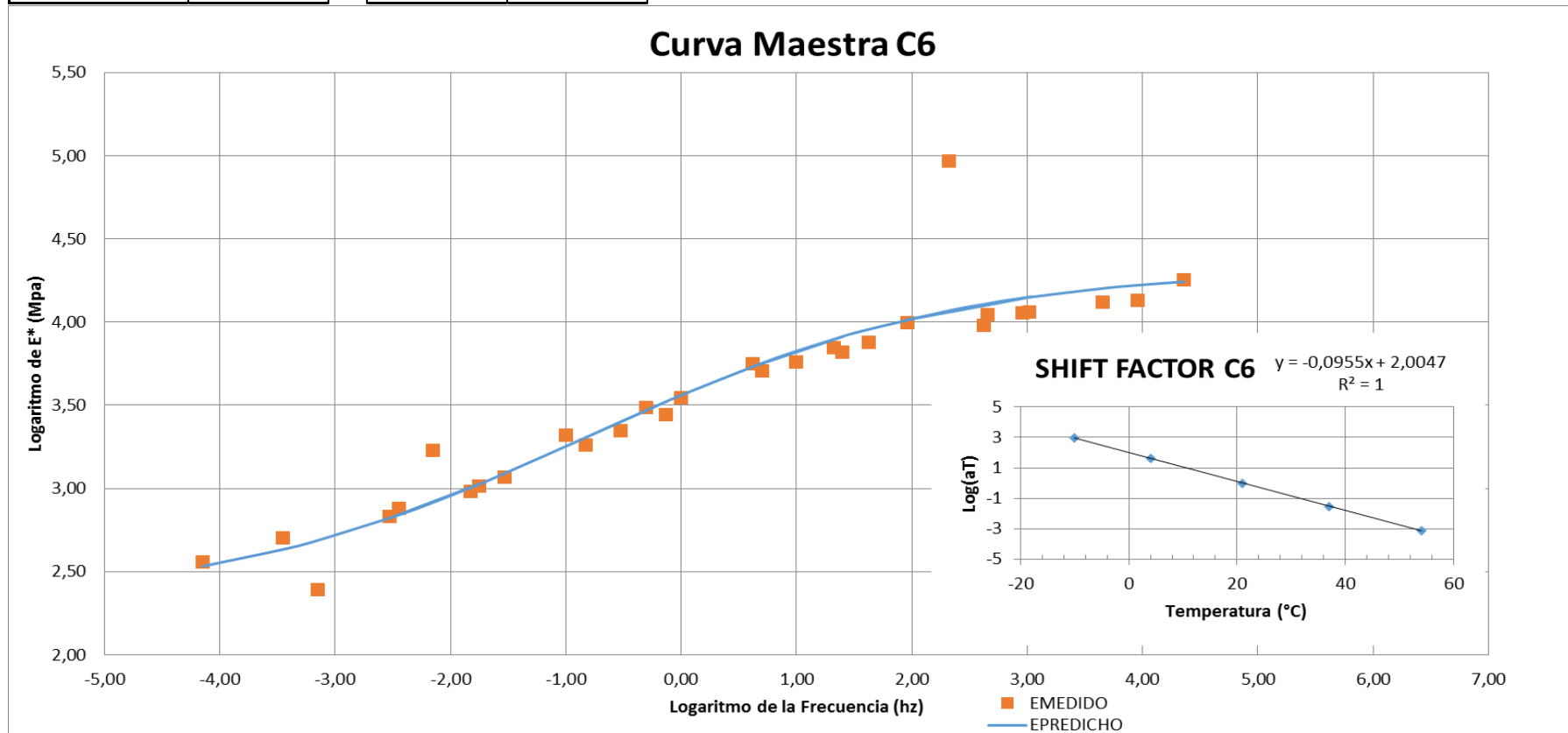


Figura 3.18: Curva Maestra de la Muestra C7

Diámetro (mm)	100,9	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d'$	2,03872836	4,50483531	-10
$\theta$	-0,31944319	2,33260268	4
$\alpha$	2,58621344	0	21
$\gamma$	0,36917267	-1,94029254	37
		-3,77583506	54

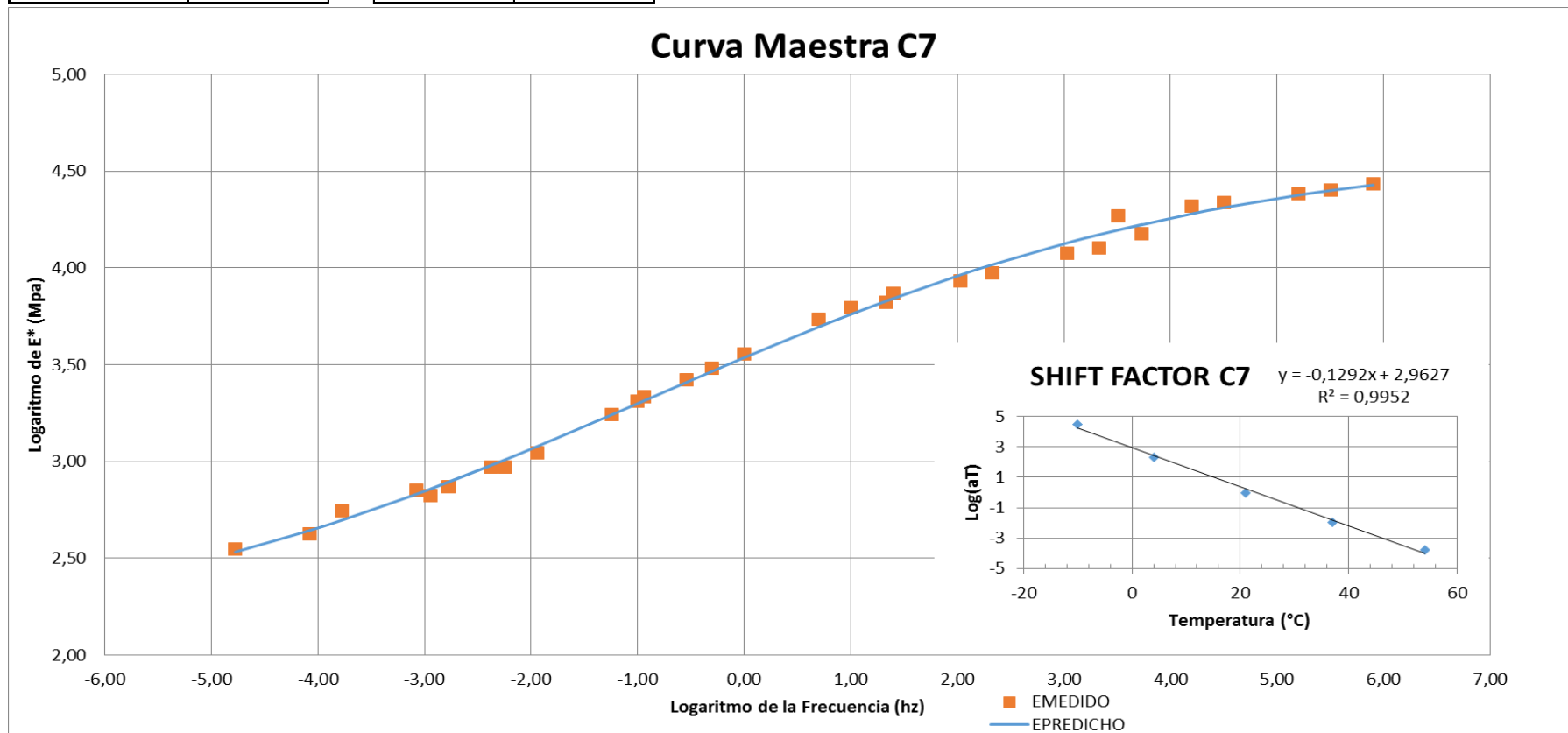


Figura 3.19: Curva Maestra de la Muestra C8

Diámetro (mm)	100,7	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d$	2,34628758	3,73865534	-10
$b$	-0,49340439	2,05020269	4
$\alpha$	2,02881449	0	21
$\gamma$	0,52576071	-1,92954117	37
		-3,97961348	54

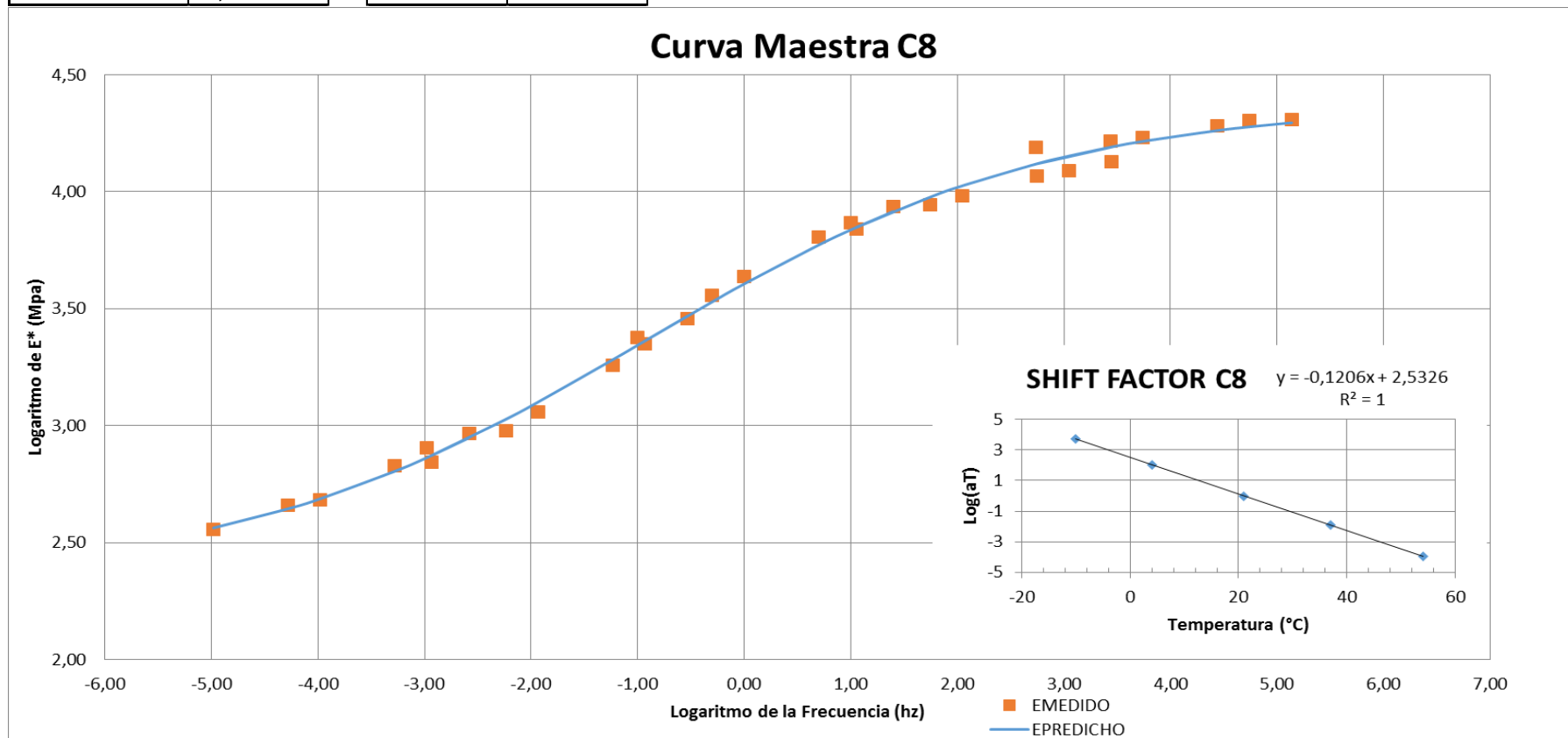


Figura 3.20: Curva Maestra de la Muestra C9

Diámetro (mm)	100,5	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d$	1,4119807	4,63889951	-10
$b$	-0,87324155	2,40202109	4
$\alpha$	3,17179758	0	21
$\gamma$	0,35408616	-1,99803577	37
		-3,88820417	54

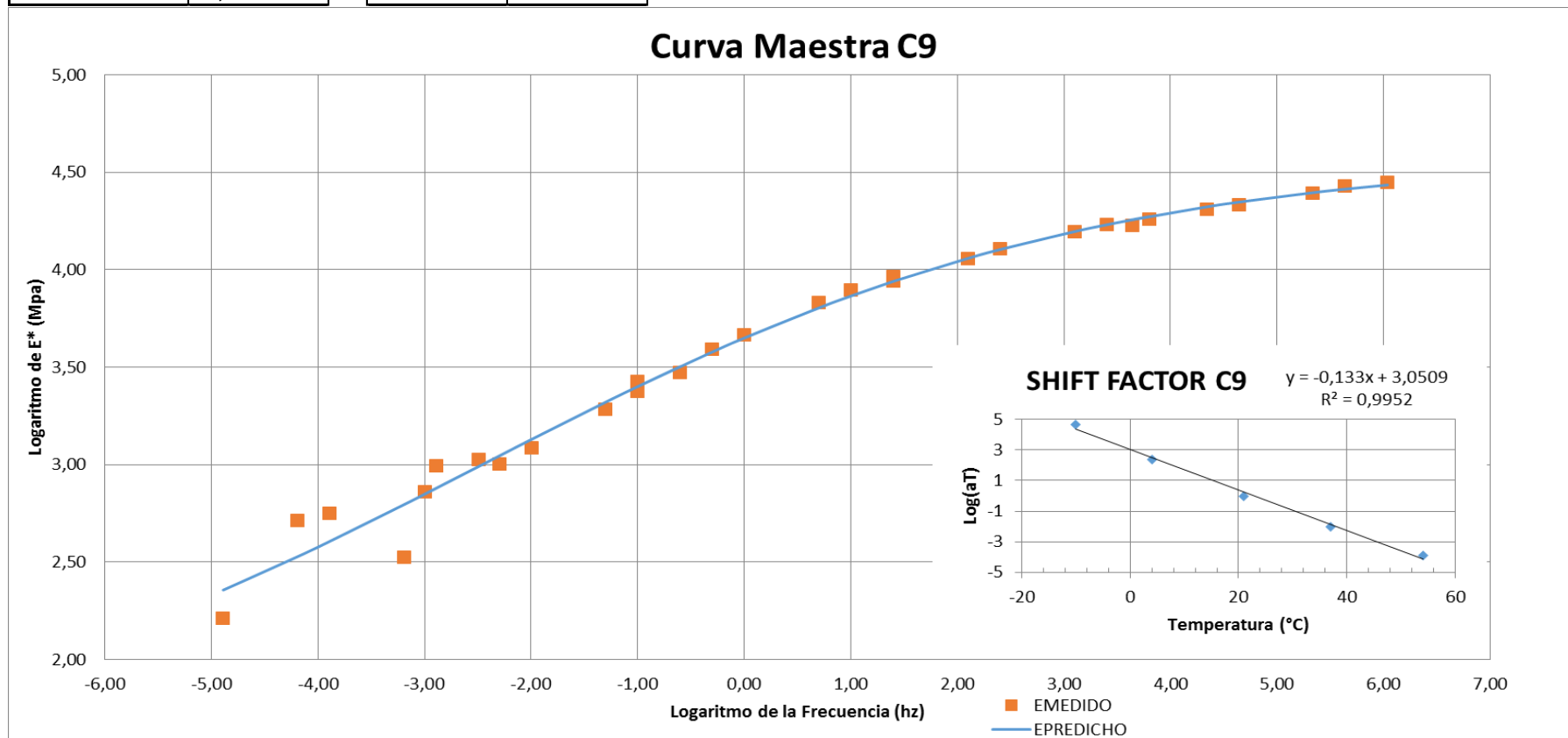


Figura 3.21: Curva Maestra de la Muestra C10

Diámetro (mm)	100,4	$\text{Log}[a(T)]$	$T(^{\circ}\text{C})$
$d$	-0,18956372	5,3318081	-10
$b$	-1,72598939	2,92381287	4
$\alpha$	4,45382841	0	21
$\gamma$	0,26977867	-2,75164221	37
		-5,67506907	54

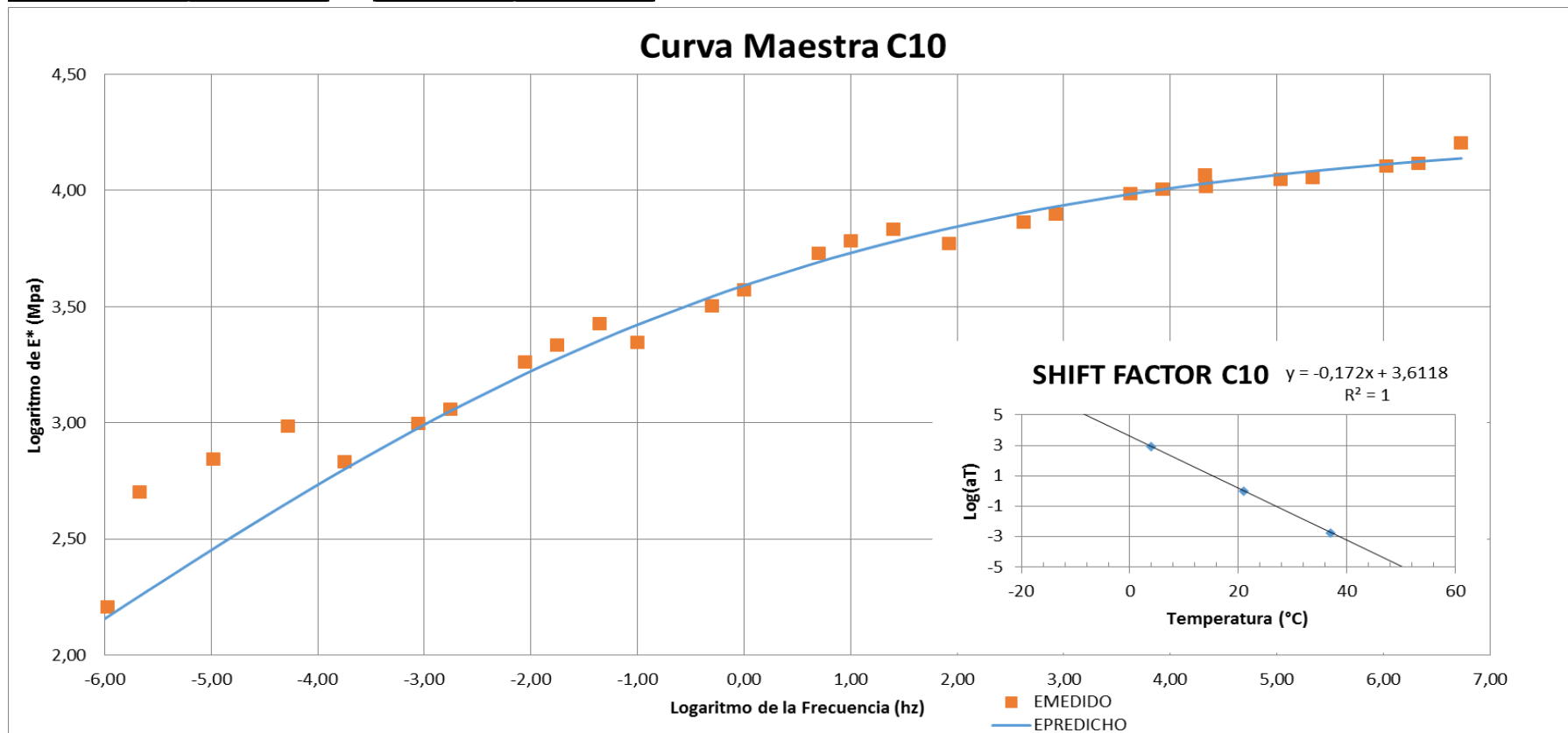
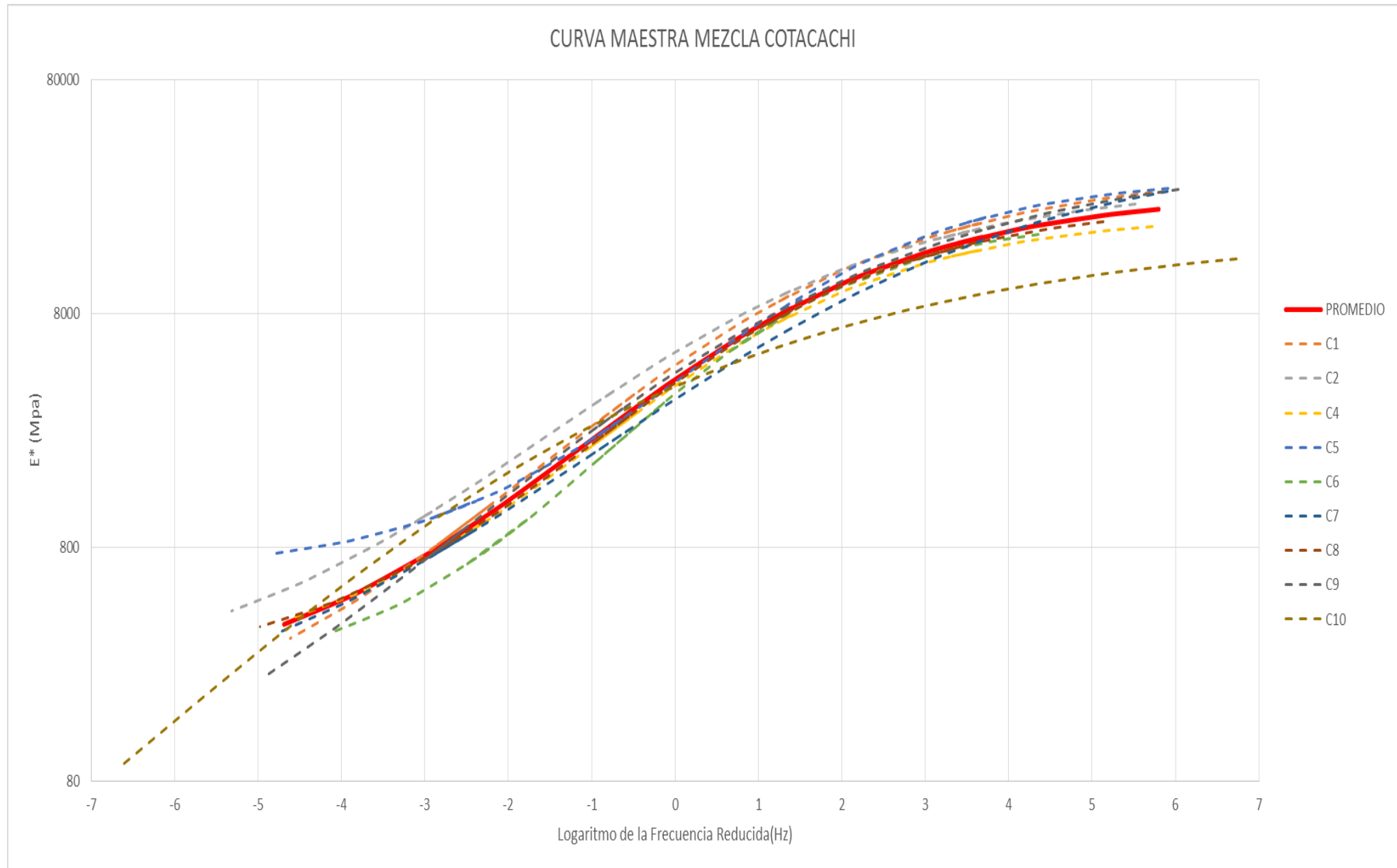


Figura 3.22: Curva Maestra Mezcla Cotacachi



### 3.4.4. Análisis de Resultados Obtenidos en Laboratorio

Para realizar el análisis de los resultados, primeramente se realizara una comparación de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio con los datos dados en los diseños de las muestras, en éste caso solamente se hace la comparación con la mezcla de Cotacachi debido a que son los únicos datos de diseño disponibles.

Se resumen los resultados en la Tabla 3.35.

*Tabla 3.35: Tabla de Resumen de Resultados Obtenidos*

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS MINA CARIYACU-COTACACHI		
<i>Resultados</i>	<i>Mina Cariyacu</i>	<i>Laboratorio PUCE</i>
<i>GRANULOMETRÍA</i>	-	Referirse a la Figura 3.2
<i>RICE</i>	2.381	2.420
<i>CONTENIDO DE ASFALTO</i>	6.40%	7.91%
<i>GRAVEDAD BULK</i>	-	2.357

Se podrá verificar al menos dos de los cuatro ensayos necesarios para la calificación de la mezcla asfáltica, ya que el diseño de Pavimentos dado por la planta DPM-Cariyacu, tiene solo los resultados del RICE y Contenido de Asfalto.

Al comparar los datos que se obtuvieron en la planta de Cariyacu-Cotacachi, con los obtenidos en el laboratorio de suelos de la PUCE se realizan las siguientes observaciones.

En el ensayo de Gravedad Específica Máxima Teórica RICE, se puede demostrar que el resultado del ensayo en el Laboratorio de Suelos de la PUCE es de 2.420, mientras que en el diseño original de la mezcla es de 2.381; al evaluarse dicho resultado se encuentran valores muy similares entre los dos laboratorios y matemáticamente tiene una diferencia de 0.039 perteneciente a un error del 1.61%; considerando así que el resultado final para este ensayo es aceptable. En el ensayo de Contenido de Asfalto Mediante el Horno de Ignición se puede señalar que los resultados obtenidos en los diferentes laboratorios tienen 7.91% y 6.40% de contenido de asfalto respectivamente, lo cual nos indica una diferencia matemática de 1.51 con



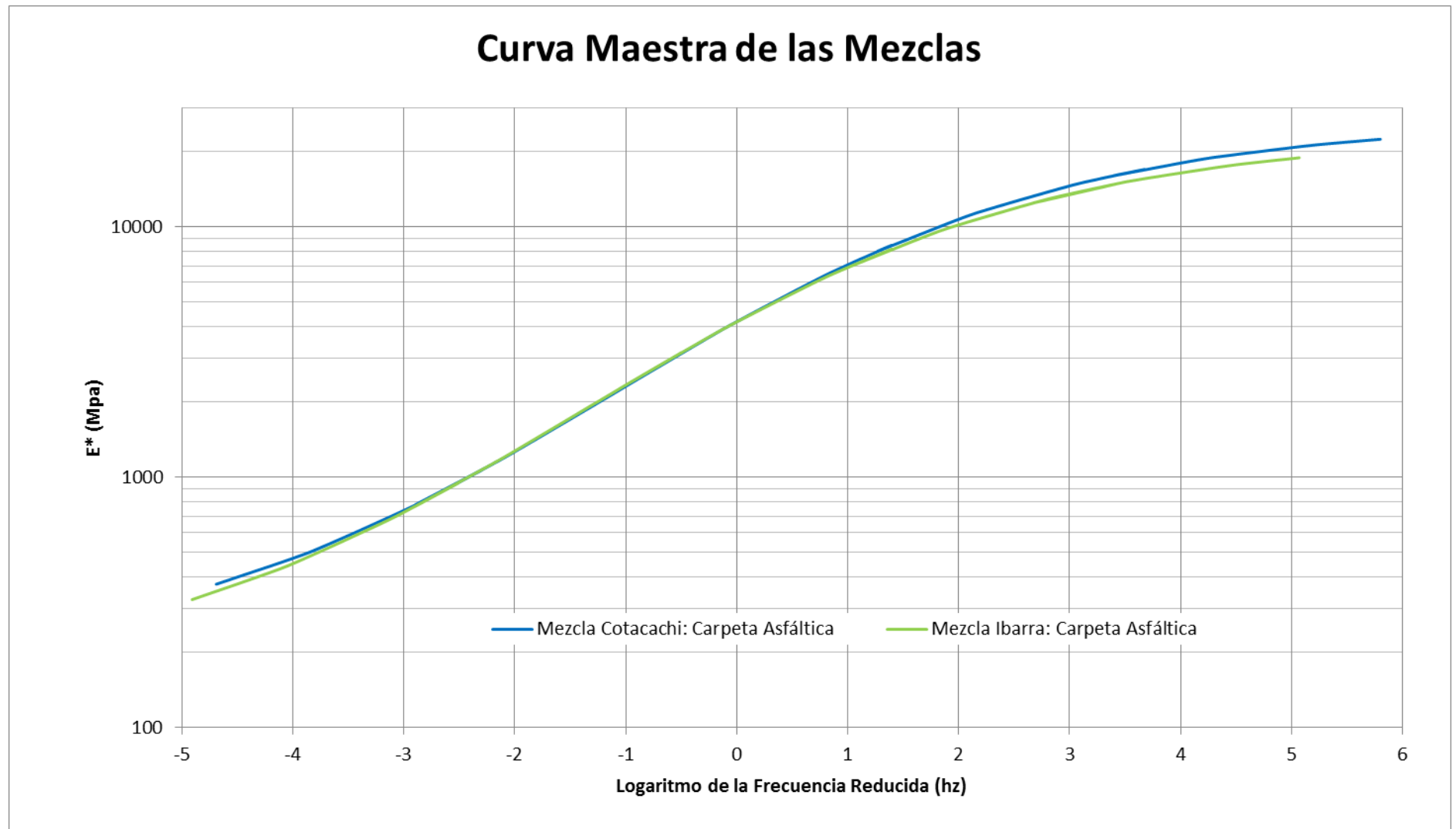
un porcentaje de error del 19.1%; justificando que el contenido de asfalto de la mezcla original es mucho mayor que el aceptable; por lo que la vía podría llegar a tener inconvenientes en el futuro.

### **3.4.5. Análisis de las Curvas Maestras**

Con la Figura 3.23: Curvas Maestras de las Mezclas mostrada a continuación, se puede tener un término de comparación para analizar los diferentes aspectos que pueden afectar a la reología de los diseños. Teniendo ambas mezclas de carpeta asfáltica.

Debido a la dificultad del ensayo, se tuvo algunos inconvenientes con las probetas al momento de colocar los apoyos metálicos para que los LVDT se sostengan. En el caso de la Mezcla 1 de Ibarra, no se tuvo mayor problema porque no hubo segregación y el porcentaje de asfalto era optimo, por lo tanto hubo una adherencia adecuada entre los apoyos metálicos y las probetas, por lo tanto, no existió una variación representativa en los resultados y se utilizaron las 9 probetas para la realización de la curva maestra de la mezcla de Panavial-Ibarra; para la Mezcla 2 de Cotacachi, hubo una sudoración de asfalto debido al exceso de asfalto en la mezcla, complicando la adhesión de los apoyos metálicos en algunas probetas, se dio el caso en que se tuvo que repetir el ensayo en algunas probetas debido a que los apoyos metálicos se despegaban al momento de retirar los LVDT's después del ensayo a altas temperaturas para colocarlos en la siguiente probeta, al repetir el ensayo en algunos casos no se eliminó ninguna probeta y se utilizaron los 9 resultados para la curva maestra de DPM-Cotacachi.

Figura 3.23: Curvas Maestras de las Mezclas



En las curvas de la Figura 3.23, se pueden observar ciertas particularidades:

- ◆ Ambas mezclas tienen un comportamiento sumamente parecido dentro de todos los rangos de temperaturas y frecuencias de carga, esto se puede producir debido a que fueron diseñadas como carpeta asfáltica, requiriendo un comportamiento similar, que sirva para proporcionar una superficie estable al tránsito y para que pueda trabajar conjuntamente con la base, soportando cargas y distribuyendo esfuerzos según el espesor utilizado de carpeta asfáltica.
- ◆ Se puede observar que el comportamiento de las dos mezclas asfálticas es muy similar ya que a temperaturas bajas alcanzan valores de módulo dinámico superiores a 10 000 Mpa, y evidentemente a temperaturas altas exceden los 10000 Mpa. referidas a cargas pesadas con velocidad de circulación bajas. Esto se debe a que ambas son utilizadas para carpetas asfálticas y se requiere un mejor comportamiento por ser la capa exterior; puesto que es la capa de la estructura del pavimento que va a estar en contacto directo con las cargas vehiculares.
- ◆ Se debe mencionar que las variables que se requiere ingresar en el programa NCHRP son los valores de  $\delta$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  y  $\gamma$ , los mismos que se encuentran en la parte superior de los gráficos de curvas maestras en las secciones 3.4.3.1 y 3.4.3.2, sin necesidad de la eliminación de ninguna de las 9 probetas.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- ✦ Cumpliendo con el objetivo de la presente disertación, las curvas expuestas en la Figura 34, ayudaran a futuros diseñadores para el uso del Método de Diseño Mecánico-Empírico M-E PDG de la AASHTO 2002; incluyendo las curvas maestras de la provincia de Imbabura al catálogo de curvas maestras de diferentes regiones del país que se ha venido realizando en la PUCE.
- ✦ Comparando los datos obtenido en los ensayos de granulometría de los agregado con la norma MOP-001F-2002, capítulo 400: Estructura del Pavimento, sección 405: Capas de Rodadura, en la tabla 405-5.1, ambos agregados cumplen con la granulometría adecuada para ser considerados en la mezcla asfáltica para una capa de rodadura.
- ✦ Comparando los ensayos del asfalto AC-20 con la tabla 7 de la norma INEN 2515, tenemos que el asfalto utilizado para cada una de las mezclas cumple con lo especificado en la tabla antes mencionada, la comparación se puede observar en las Tablas 3.3 y 3.4. Los ensayos realizados al asfalto son primordiales para la realización de las curvas maestras, ya que influye en el diseño que va a tener la carpeta asfáltica y se deben verificar el cumplimiento de lo especificado en la norma.
- ✦ Analizando los resultados de laboratorio de las mezclas asfálticas, excepto el porcentaje de asfalto mediante el horno de ignición de la mezcla de Cotacachi, la cual tiene un excedente de 2% de lo óptimo, es por esta razón que en el futuro la vía puede tener problemas de sudoración, desplazamiento y ahuellamiento del asfalto. En la mezcla esto afecta debido a que la hace muy fluida y produce una estabilidad baja. La comparación de resultados se puede ver en la Tabla 3.35.
- ✦ Cada mezcla asfáltica tendrá sus propias características debido a los materiales que se obtienen de diferentes minas, gracias a esto se tienen valores propios de módulos dinámicos sin afectar el uso que se le dará a la mezcla asfáltica.
- ✦ Al analizar el comportamiento del pavimento sometido a cargas cíclicas las cuales se asemejan al comportamiento real de la estructura, se evidencia que el módulo dinámico es un parámetro importante ya que se puede conformar una mezcla asfáltica que tenga mínimas afectaciones en cuanto a deformaciones permanentes y agrietamientos por

fatiga; siendo estos muy comunes en el diseño actual mediante el método de la AASHTO 93 el cual utiliza como parámetro principal el módulo resiliente.

- ♦ Mediante los resultados se puede afirmar que existen algunas restricciones para el diseño y uso de las curvas maestras realizadas en esta disertación. En primera instancia está la obtención de los módulos dinámicos que, siguiendo con la Guía de Diseño Mecánico – Empírico del Pavimento del Manual de Práctica AASHTO (2008), indica que existen tres niveles para ser determinados; en el caso de esta disertación se utilizó el “Nivel 1”, el cual exige datos obtenidos mediante la realización de ensayos de laboratorio, por lo tanto, el módulo dinámico de una mezcla asfáltica en caliente será única para esas condiciones; es decir que si se tiene una mezcla con variaciones en sus propiedades, como diferentes agregados, proveniencia del asfalto, porcentaje de bitumen, porcentaje de vacíos y granulometría deberán ser ensayadas nuevamente en laboratorio, ya que al tener una mezcla bajo nuevas condiciones, no se cumple lo estipulado en el “Nivel 1” de diseño, teniendo como consecuencia un cambio del módulo dinámico y de las curvas maestras. Para poder utilizar las curvas maestras de la presente disertación, se debe tomar en consideración las limitaciones que nos da el Software M-E PDG, siendo estos parámetros como TPDA, clima, método de diseño y materiales y donde los datos de módulo dinámico son ingresados en éste último parámetro, de igual manera se debe considerar que estas curvas son para una localidad específica dentro de la provincia de Imbabura y no se las puede utilizar en cualquier otro proyecto del Ecuador.
- ♦ Por otro lado, la Guía de Diseño Mecánico – Empírico del Pavimento del Manual de Práctica AASHTO (2008) para el “Nivel 2” explica que se puede realizar estimaciones mediante correlaciones de propiedades de los materiales ensayadas en laboratorio o en campo, pero éste nivel es considerado de dar un resultado con calificación de bueno; y para el “Nivel 3”, el diseñador realizará estimaciones de las propiedades del material basándose principalmente en la experiencia con o sin datos de ensayos de laboratorio, en donde consideramos respuestas pobres; por lo que se puede deducir que el “Nivel 1”, tiene una respuesta confiable y más cercana a la condiciones reales a las que va a estar expuesto el pavimento, calificando el resultado como excelente.

## **Recomendaciones**

- ✦ Se recomienda continuar con este tipo de disertaciones para que el catálogo de curvas maestras se siga expandiendo a diferentes regiones del país y de esta manera facilitar el diseño de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.
- ✦ Se debe tener mayor cuidado al ensayar las briquetas en la máquina universal, debido a que al momento del ensayo los apoyos metálicos se desprenden con facilidad a mayores temperaturas por la inestabilidad del epóxico utilizado, dando resultados erróneos y de esta manera se puede producir un error en los valores del módulo dinámico.
- ✦ Se debe tener en cuenta la cantidad necesaria de los materiales a ser utilizados en los diferentes ensayos para que no exista un faltante del mismo y una variación en los resultados debido a que las plantas asfálticas no siempre trabajan con los mismos materiales.
- ✦ Al momento de realizar los ensayos para el asfalto AC-20, se debe saber la proveniencia del mismo, porque puede que ya haya llegado al límite de su vida útil, por razones de manipulación inadecuada en planta, dando como resultado el cambio de sus propiedades, lo cual varía los resultados de los ensayos.
- ✦ Debido a que las plantas asfálticas se encuentran a una gran distancia del laboratorio de pavimentos de la PUCE, donde van a ser ensayadas cada una de las mezclas y el transporte será en envases herméticos, se recomienda hacer un cuarteo adecuado de la mezcla antes de realizar las briquetas para que no exista segregación de los materiales.

## BIBLIOGRAFÍA

- (AASHTO), A. A. (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice*. Washington, DC: AASHTO.
- AASHTO. (2003). Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures. In A. T. 62-03, *Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixture* (p. 2). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials. Retrieved from AASHTO TP 62-03.
- AASHTO, T.-0. (2003). *Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures*. Washington D.C.: AASHTO.
- AASHTO, T.-3. (2013). *Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method*. Washington D.C: AASHTO.
- ASTM, D.-0. (2009). *Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method)*. Pennsylvania: ASTM.
- ASTM, D.-1. (2010). *Standard Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer*. Pennsylvania: ASTM.
- ASTM, D.-1. (2011). *Standard Test Method For Bulk Specific Gravity and Density Of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures*. Pennsylvania: ASTM.
- ASTM, D.-1. (2011). *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*. Pennsylvania: ASTM.
- ASTM, D.-1. (2013). *Método de Ensayo Normalizado para Penetración de Materiales Bituminosos*. Pennsylvania: ASTM.
- Espin Real, E. A., & Jaramillo Guijarro, F. A. (2016). *Caracterización de Mezclas Asfálticas en Caliente Mediante la Obtención de Curvas Maestras de Módulo Dinámico*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- García, G. (n.d.). *Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas*. Retrieved from <http://www.seminariorecapados.usm.cl/presentaciones/Gabriel%20Garcia-1.pdf>.
- Google. (2016, Noviembre 14). *Google Maps*. Retrieved from Google Maps: <https://www.google.com.ec/maps/@0.3228655,-78.1377254,10.54z>

- Higuera Sandoval, C. H., Naranjo Barrera, G. M., & Cetina Acuna, J. F. (2011, Mayo 09). *DIALNET*. Retrieved Enero 13, 2016, from [dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3758445.pdf](http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3758445.pdf)
- I.N.V.E-754-07. (2016, Noviembre 07). *Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas*. Retrieved from Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-754-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-754-07.pdf)
- INEN-920. (2013). *Determinación del Punto de Reblandecimiento (Método de Anillo y Bola)*. Quito: INEN.
- Leiva, F. (2006). *Estudio del Módulo Dinámico Complejo de Mezclas Asfálticas*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANNAME). Retrieved from Desarrollo de Curvas Maestras. Primera Parte.
- Li, X., & Williams, R. C. (2011). A Practical Dynamic Modulus Testing Protocol. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 40. No. 1.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes. In M. d. Comunicaciones, *MOP-001-F-2002* (p. 400). Quito: Ecuador.
- NCHRP. (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*. Illinois: ERES Consultants Division.
- Noboa López, N. S., & Vega Naranjo, C. E. (2014). *Caracterización de Mezclas Asfálticas en Caliente Mediante la Obtención de Curvas Maestras de Módulo Dinámico*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Pellinen, T. K., Witczak, M. W., & Bonaquist, R. F. (2003, Noviembre 11). *ASPHALT MIX MASTER CURVE CONSTRUCTION USING SIGMOIDAL FITTING FUNCTION WITH NON-LINEAR LEAST SQUARES OPTIMIZATION*. Retrieved from Recent Advances in Materials Characterization and Modeling of Pavement Systems: <http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/40709%28257%296>
- Públicas, M. d. (2014, Septiembre 3). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*. Retrieved from Ministerio de Transporte y Obras Públicas:



<http://www.obraspublicas.gob.ec/avanza-ampliacion-de-la-panamericana-norte-tramo-ibarra-bolivar/>

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño* (Primera ed.). Bogotá: Ecoe.

Segovia Nájera, A. J. (2010). *Construcción de Curvas Maestras de una Fórmula Experimental de Mezcla Asfáltica en Caliente Utilizando Materiales del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.